جامعة حلب

كلية الهندسة الميكانيكية

قسم الميكـانيك التطبيقي



نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

إعداد

المهندس حسـان نحـاس

حزيران – 2011 م

جامعة حلب
كلية الهندسة الميكانيكية
قسم الميكانيك التطبيقي



نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

إعداد

المهندس حسان نحاس

إشراف

الدكتور أحمد نحاس

أستاذ في قسم هندسة الطاقة في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة حلب

حزيران – 2011 م

University of Aleppo
Faculty of Mechanical Engineering
Applied Mechanics Department



Modeling Of The Heat Balance For Swimming Pools In Order To Reduce Energy Consumption

Research Prepared for Master of Sciences (MSc) degree in Mechanical Engineering

Prepared by

Eng. Hassan Nahhas

Supervisor

Dr. Eng. Ahmad Nahhas

Dep. Power Engineering

Faculty of Mechanical Engineering

University of Aleppo

Jun/2011

University of Aleppo
Faculty of Mechanical Engineering
Applied Mechanics Department



Modeling Of The Heat Balance For Swimming Pools In Order To Reduce Energy Consumption

Research Prepared for Master of Sciences (NSc) degree in Mechanical Engineering

Prepared by

Eng. Hassan Nahhas

Jun /2011

شهادة

أشهد بأن العمل المقدم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قام به المرشح المهندس **حسان نحاس** طالب الماجستير في قسم الميكانيك التطبيقي في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة حلب بإشراف الدكتور **أحمد نحاس** الأستاذ في قسم هندسة الطاقة في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة حلب، وبأن المراجع المذكورة في هذه الرسالة موثقة في نص هذه الرسالة.

المرشح	المشرف
المهندس حسان نحاس	**الدكتور أحمد نحاس**

....

تصريح

أصرح أن هذا البحث بعنوان:

نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

لم يسبق أن قدّم من قبل لأي شهادة ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

المرشح	المشرف
المهندس حسان نحاس	**الدكتور أحمد نحاس**

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية

بعنوان

نمذجة التوازن الحراري في أحواض السباحة المكشوفة لتخفيض استهلاك الطاقة

لجنة الحكم:

الدكتور أحمد نحاس

أستاذ في قسم هندسة الطاقــة بكلية الهندســـة الميكانيكيــة ــ جامعة حلب

الدكتور فاروق العبود

أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة بكلية الهندسة الميكانيكية ــ جامعة حلب

الدكتور علي كرنو

مدرس في قسم هندسة القوى بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ــ جامعة تشرين

نوقشت هذه الرسالة وأجيزت يوم الثلاثاء الواقع في: 28 / رجب / 1432 هجرية والموافق: 28 / حزيران / 2011 ميلادية على مدرج الدكتور أحمد فيصل العمر في كلية الهندسة الميكانيكية.

الفهرس

الفصل الأول

الفصل الثاني

الفصل الثالث

الفصل الرابع

الفصل الخامس

مقدمة

تلعب الطاقة دورا أساسياً في المجتمع حيث يعتبر مفهوم الطاقة ونظامها وعلاقاتها مع المجتمع من القواعد الأساسية للتطور الديناميكي في أي بلد من بلدان العالم وذلك لأنها العصب الأساسي والمحرك الأول في سبيل تطور الحضارة والتقدم العلمي وفي سبيل التنمية الشاملة في مجالات الحياة المختلفة.

ففي العصر الحديث يشكل استثمار موارد الطاقة فناً وعلماً حيوياً لنمو المجتمع اقتصادياً واجتماعياً وثقافياً، ومن أجل الحفاظ على استمرار تنمية البلدان النامية والمتقدمة على حد سواء فلا بد من تطوير جميع مصادر الطاقة الحالية والحاجة الضرورية إلى مصادر مختلفة للطاقة والتي ستسهم في تلبية الطلب المتزايد على الطاقة وتحقيق الاكتفاء الذاتي من الطاقة وتجنب حدوث مشاكل اقتصادية كبيرة وبشكل خاص في البلدان النامية.

تعتبر أحواض السباحة وسيلة جيدة للتمرين ولتجاوز حرارة الصيف، كما أن بناء حوض السباحة المنزلي والحفاظ عليه وتدفئته يتطلب كلفة عالية نسبياً تضاف إلى ميزانية العائلة نظراً لكون مصدر الطاقة الطبيعية الداخلة إلى أحواض السباحة المكشوفة غير كافية لهذه الأحواض لكي تستخدم في معظم أشهر السنة بدون تسخين إضافي، أو تخفيض ضياعات هذه الطاقة.

يقوم العديد من أصحاب المسابح المكشوفة بتسخين أحواض مسابحهم لتمديد موسم السباحة، أو للحفاظ على درجة حرارة أحواضهم بحيث تكون مريحة لهم شخصياً وهذا يمكّنهم من استثمار مسابحهم بشكل أفضل.

وتبين من خلال الدراسة النظرية أنه يوجد ثلاث طرق رئيسية لتخفيض ضياعات الطاقة ونفقات التشغيل لهذه المسابح، وهي:

1– تغطية سطح حوض السباحة.

2– تخفيض سرعة الرياح فوق سطح الحوض.

3– استخدام مضخات تسريع أصغر وبكفاءة أعلى وتشغيل هذه المضخات لفترة أقل في اليوم.

مما لا شك فيه أن استخدام الطاقة الكهربائية في تدفئة المسابح يعتبر من الناحية التشغيلية مكلفاً جداً، فالطاقة الكهربائية اللازمة لتدفئة كميات كبيرة من الماء والمحافظة على درجة حرارتها إلى الحد المناسب للسباحة يعتبر مرتفعاً بدرجة قد تحرم الكثيرين من أصحاب المسابح الخاصة من ممارسة السباحة والاستمتاع بها في معظم أوقات العام.

وقد كانت أكثر الأبحاث الملفتة للنظر هي أبحاث سيزرنك (Czarnecki) في استراليا [1,2]، والتي ركزت على توازن الطاقة في أحواض السباحة المكشوفة باستخدام بيانات الطقس القياسية.

أهمية البحث وأهدافه

نظراً لارتفاع أسعار الوقود التقليدي بسبب ندرته ووضعه تحت التقنين فإن استخدام هذا الوقود من أجل أغراض الرفاهية أصبح أمراً غير مرغوباً به.

لذلك تنامى الاهتمام بوسائل مختلفة لتسخين أحواض السباحة، والعمل على إيجاد حلول لتخفيض ضياعات الطاقة الحرارية من هذه الأحواض، فمثلاً يمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية لتسخين أحواض السباحة والتي يمكن أن تكون مصدراً طبيعياً لتدفئة مياه المسابح والاستفادة منها لتشمل فصلي الربيع والخريف.

تم إعداد نموذج رياضي باستخدام برنامج النمذجة *EES* (*Engineering Equation Solver*) لدراسة وتحديد مقدار الطاقة الشمسية السلبية المختزنة في مياه حوض السباحة، وحساب مقدار الضياعات الحرارية من مياه الحوض بالاعتماد على معادلات توازن الطاقة لأحواض السباحة المكشوفة وتحديد المتغيرات المؤثرة على ضياع هذه الطاقة لتحديد فترة موسم السباحة عند درجة حرارة مريحة للسباحة.

تمت دراسة إحدى الطرق الأكثر شيوعاً من أجل تخفيض ضياعات الطاقة من الحوض وهي تغطية سطح الحوض، وبالتالي تحديد مقدار الزيادة في فترة موسم السباحة الناتجة عن تطبيق هذه الطريقة.

كذلك تحديد مقدار التخفيض في كمية الطاقة اللازمة للتسخين المساعد والناتج عن تخفيض تلك الضياعات.

لقد تم توثيق هذا النموذج بنمذجة حالة بقيم عددية في مدينة حلب وبالاعتماد على بيانات الطقس فيها.

الفصل الأول

التوازن الحراري في أحوض السباحة المكشوفة

1-1 مفاهيم أساسية في انتقال الحرارة:

1-1-1 انتقال الحرارة بالتوصيل:

هو انتقال الطاقة الحرارية من جزيئات الجسم الصلب الأسخن إلى الجزيئات الأقل سخونة والتي على تماس معها، نتيجة اختلاف درجة الحرارة بينها.

2-1-1 انتقال الحرارة بالحمل:

هو انتقال الطاقة الحرارية بين سطح جسم ووسط سائل او غازي متحرك، ويتم ذلك إما بشكل طبيعي نتيجة اختلاف في كثافة الوسط (حمل حر) أو نتيجة تحريك الوسط بمؤثر خارجي (حمل قسري).

3-1-1 انتقال الحرارة بالإشعاع:

هو التحول من الطاقة الحرارية الداخلية في جسم ما إلى طاقة إشعاعية تنتقل عبر الفراغ لتصطدم بجسم آخر وتتحول من جديد إلى طاقة حرارية يمتصها الجسم المستقبل[20].

4-1-1 المقاومة الحرارية:

هي المقاومة التي يبديها العنصر الإنشائي أمام انتقال الحرارة بالتوصيل خلال سماكته، وبازدياد هذه المقاومة تزداد قدرة العنصر الإنشائي على مقاومة

الحرارة، كما يطلق على هذه القيمة مصطلح "العازلية الحرارية"، وتحسب بقسمة سماكة المادة (d) على موصليتها الحرارية (λ) ووحدة قياسها (m^2.K/W).

1-1-5 الإصدارية (الإنبعاثية):

هي نسبة الطاقة الإشعاعية التي يصدرها جسم ما درجة حرارته (t) إلى الطاقة الإشعاعية التي يصدرها الجسم الأسود ذو درجة الحرارة نفسها.

يعرف الجسم الأسود بأنه الجسم أو السطح الذي يمتص كامل الطاقة الإشعاعية الساقطة عليه كما يصدر أكبر طاقة إشعاعية مقارنة بما تصدره الأجسام الأخرى.

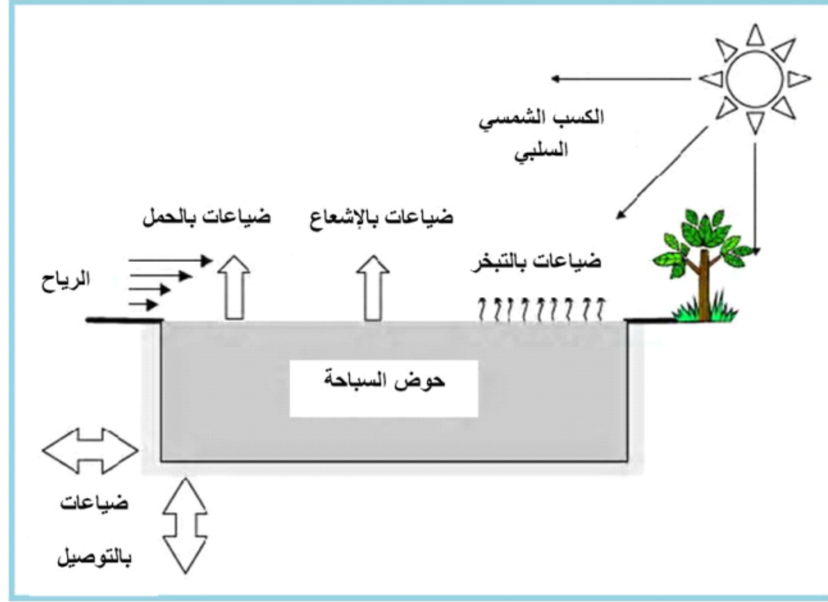
1-2 الموازنة الحرارية في حوض السباحة المكشوف:

يبين الشكل (1-1) نموذجاً لحوض سباحة منزلي مكشوف موضوع هذا البحث.



الشكل (1-1) نموذج لحوض سباحة منزلي مكشوف

تحدث الضياعات الحرارية من حوض السباحة الخارجي بالتبخير والإشعاع والحمل وذلك من سطح الماء، كما أنه يوجد مركبة محدودة للضياعات بالتوصيل عبر الأرضية والجدران، كما يكسب حوض السباحة بالمقابل طاقة حرارية من خلال الأشعة الشمسية الواردة إلى سطحه بالطريقة السلبية، كما هو مبين بالشكل (1−2).



الشكل (1−2) مخطط الكسب الشمسي السلبي والضياعات الحرارية لحوض سباحة مكشوف

إن معدل توازن الطاقة النهاري $\dot{Q}_{tot,day}$ لحوض السباحة يعبر عنه كمجموع لكافة الضياعات الحرارية من الحوض مطروحاً منه الكسب الشمسي السلبي والناتج عن سقوط أشعة الشمس على سطح الحوض.

$$\dot{Q}_{tot,day} = \dot{Q}_{eva,day} + \dot{Q}_{conv,day} + \dot{Q}_{rad,day} + \dot{Q}_{makeup,day} + \dot{Q}_{cond,day} - \dot{Q}_{pass} \qquad \text{........... (1-1)}$$

كما أن معدل توازن الطاقة الليلي $\dot{Q}_{tot,night}$ لهذا الحوض يعبر عنه كمجموع لكافة الضياعات الحرارية من الحوض فقط.

$$\dot{Q}_{tot,night} = \dot{Q}_{eva,night} + \dot{Q}_{conv,night} + \dot{Q}_{rad,night} + \dot{Q}_{makeup,night} + \dot{Q}_{cond,night} \quad \text{..... (1-2)}$$

وبالتالي فإن الموازنة الحرارية الكلية للحوض تعطى كما يلي:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{tot,day} + \dot{Q}_{tot,night} \quad \text{........... (1-3)}$$

حيث:

[W] $\dot{Q}_{eva}$ معدل ضياع الحرارة بواسطة التبخير.

[W] $\dot{Q}_{conv}$ معدل ضياع الحرارة بالحمل.

[W] $\dot{Q}_{rad}$ معدل ضياع الحرارة بالإشعاع.

[W] $\dot{Q}_{makeup}$ معدل ضياع الحرارة نتيجة ماء التعويض.

[W] $\dot{Q}_{cond}$ معدل ضياع الحرارة بالتوصيل.

[W] $\dot{Q}_{pass}$ معدل انتقال الحرارة بالكسب الشمسي السلبي.

3–1 ضياع الحرارة بالتبخر:

إن معدل الضياع الحراري من حوض السباحة بواسطة التبخر يمكن أن يحسب على أساس معدل كتلة الماء المتبخرة من الحوض نهاراً وليلاً[5–3] بالعلاقة:

$$\dot{Q}_{eva,day} = A_p \, h_{e,day} \left[P_{v.sat} - P_{v.amb,day}\right] (1.2) \quad \text{......... (1-4)}$$

$$\dot{Q}_{eva,night} = A_p \, h_{e,night} \left[P_{v.sat} - P_{v.amb,night}\right] (1.2) \quad \text{....... (1-5)}$$

حيث:

[m^2] A_p مساحة سطح الحوض.

[$W/m^2.pa$] h_e معامل انتقال الكتلة بالتبخر.

$P_{v.sat}$ [Pa] الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع عند درجة حرارة الحوض.

$P_{v.amb}$ [Pa] الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة الوسط المحيط.

(1.2): عامل تصحيح يأخذ بعين الاعتبار زيادة التبخر الناتج عن نشاط السباحين في الحوض.

كما أن معامل انتقال الكتلة بالتبخر h_e يحسب من العلاقة[5−3]:

$$h_{e,day} = 0.05058 + 0.0669\ V_{0.3(day)} \qquad \text{........... (1-6)}$$

$$h_{e,night} = 0.05058 + 0.0669\ V_{0.3(night)} \qquad \text{.......... (1-7)}$$

حيث:

$V_{0.3}$ [m/s] سرعة الرياح على ارتفاع (0.3 m) من سطح الحوض.

تؤخذ $V_{0.3}$ بدلالة V_{10} سرعة الرياح المناخية والتي تقاس على ارتفاع (10 m) عن سطح الأرض، وتحسب بالعلاقة التالية [8]:

$$V_{0.3} = 0.3\ V_{10} \qquad \text{.......... (1-8)}$$

أما: $P_{v.sat}$ فيحسب من العلاقة التالية [11,6]:

$$P_{v.sat} = 10^5.\begin{bmatrix} 0.004516 + \ 0.0007178.T_p \\ -2.649.10^{-6}.T_p^2 + 6.944.10^{-7}.T_p^3 \end{bmatrix} \qquad \text{........ (1-9)}$$

كما أن $P_{v.amb}$ يحسب بدلالة الرطوبة النسبية (Ø%)

$$P_{v.amb,day} = \frac{P_{s,day}\ \ Ø}{100} \qquad \text{.......... (1-10)}$$

$$P_{v.amb,night} = \frac{P_{s,night}\ \ Ø}{100} \qquad \text{..................... (1-11)}$$

حيث:

(P_s) ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الهواء (T_a)، ويحسب (P_s) من المعادلة (1-9) باستبدال درجة حرارة الماء (T_p) بدرجة حرارة الهواء (T_a) نهاراً وليلاً.

4–1 ضياع الحرارة بالحمل:

تحسب ضياعات الحمل الحراري والتي تذهب إلى الوسط المحيط بالحوض، نهاراً وليلاً كما يلي [2,5]:

$$\dot{Q}_{conv,day} = A_p\, h_{conv,day}\left(T_p - T_{a,day}\right) \quad \text{......... (1-12)}$$

$$\dot{Q}_{conv,nigh} = A_p\, h_{conv,nigh}\left(T_p - T_{a,nigh}\right) \quad \text{......... (1-13)}$$

حيث: h_{conv} [W/m^2.K] معامل انتقال الحرارة بالحمل ويحسب بالعلاقة[2,5]:

$$h_{conv} = 3.1 + 4.1\ V_{0.3} \quad \text{......... (1-14)}$$

وتحسب درجة حرارة الهواء للوسط المحيط بالحوض كما يلي[2]:

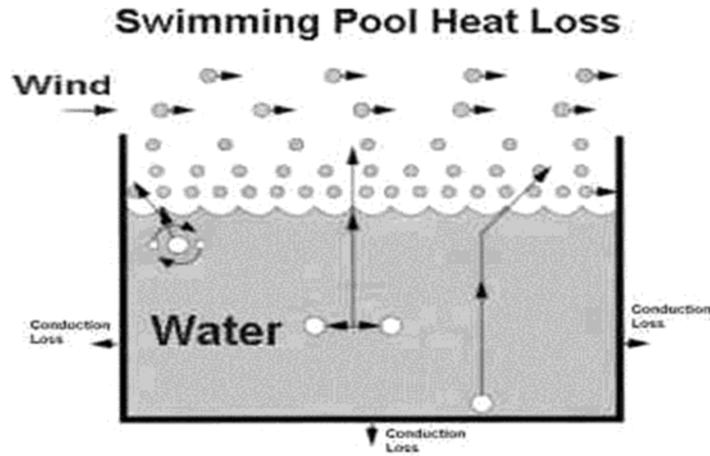
$$T_{a,day} = T_{a,max} - 0.2\ \Delta T \quad \text{......... (1-15)}$$

$$T_{a,night} = T_{a,min} + 0.3\ \Delta T \quad \text{......... (1-16)}$$

حيث:

$$\Delta T = T_{a,max} - T_{a,min} \quad \text{......... (1-17)}$$

ونلاحظ أن ضياع الطاقة الحرارية بالتبخر والحمل من حوض السباحة المكشوف يعتمد بشكل كبير على تأثير سرعة الرياح، كما في الشكل (1–3).



الشكل (1–3) تأثير الرياح على ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير والحمل

والعلاقات المستخدمة في الحسابات تعتمد على سرعة الرياح على ارتفاع (30 cm) من سطح الحوض، إلا أن بيانات الأرصاد الجوية تأخذ سرعة الرياح عادةً على ارتفاع (10 m)، ولذلك فإن عامل التصحيح يعتمد على التضاريس المحيطة بالحوض.

5-1 ضياع الحرارة بالإشعاع:

إن معدل ضياع الحرارة من الحوض المكشوف يتم عن طريق إشعاع الموجة الطويلة مع السماء، ويعتمد على مساحة سطح الحوض المكشوف إلى السماء، وتحسب ضياعات الحرارة بالإشعاع إلى الوسط المحيط نهاراً وليلاً كما يلي[7]:

$$Q_{rad,day} = A_p \ \varepsilon_w \ \sigma \,[(T_p)^4 - (T_{sky,day})^4] \qquad \text{......... (1-18)}$$

$$Q_{rad,night} = A_p \ \varepsilon_w \ \sigma \,[(T_p)^4 - (T_{sky,night})^4] \qquad \text{......... (1-19)}$$

حيث:

ε_w إصدارية (انبعاثية) الماء من أجل الموجة الطويلة وتعرف بأنها نسبة الطاقة الإشعاعية التي يصدرها جسم ما درجة حرارته (T) إلى الطاقة الإشعاعية التي يصدرها الجسم الأسود عند نفس درجة الحرارة، وتساوي هنا إلى (0.96) [2].

σ ثابت بولتزمان ويساوي إلى 5.669×18^{-8} $(W/(m^2.K^4))$

T_p $[K]$: درجة حرارة الحوض.

T_{sky} $[K]$: درجة حرارة السماء وتستنتج من العلاقة التالية[7]:

$$L_{sky,day} = \sigma \ [\, T_{sky,day} \,]^4 \qquad \text{......... (1-20)}$$

$$L_{sky,night} = \sigma \ [\, T_{sky,night} \,]^4 \qquad \text{......... (1-21)}$$

حيث:

L_{sky} هو إشعاع السماء، ويأخذ قيمة تتراوح بين القيم الغائمة والصافية وتحسب من العلاقة التالية:

$$L_{sky,day} = (1 - C)\, L_{clear,day} + C\, L_{cloudy,day} \qquad .... (1\text{-}22)$$

$$L_{sky,night} = (1 - C)\, L_{clear,night} + C\, L_{cloudy,night} \qquad ....(1\text{-}23)$$

L_{clear}: إشعاع الموجة الطويلة لسماء صافية تحسب باستخدام صيغة (Swinbank's) [7] كما يلي:

$$L_{clear} = 5.31 \times 10^{-13} \, [\, T_{a,day} \,]^{6} \qquad ....(1\text{-}24)$$

$$L_{clear} = 5.31 \times 10^{-13} \, [\, T_{a,night} \,]^{6} \qquad ....(1\text{-}25)$$

ومن أجل سماء ملبدة بالغيوم فإن النموذج يفترض بأن درجة حرارة الغيوم تنقص (5) درجات عن درجة حرارة الوسط المحيط (T_a) وبالتالي فإن إشعاع L_{cloudy} موجة طويلة لسماء غائمة يعطى بالعلاقة التالية:

$$L_{cloudy,day} = 0.96\ \sigma\ [\, T_{a,day} - 5 \,]^{4} \qquad .... (1\text{-}26)$$

$$L_{cloudy,night} = 0.96\ \sigma\ [\, T_{a,night} - 5 \,]^{4} \qquad .... (1\text{-}27)$$

C: نسبة السماء المغطاة بالغيوم وتحسب بالعلاقة:

$$C = \left(\frac{K_d - 0.165}{0.835}\right) \qquad .... (1\text{-}28)$$

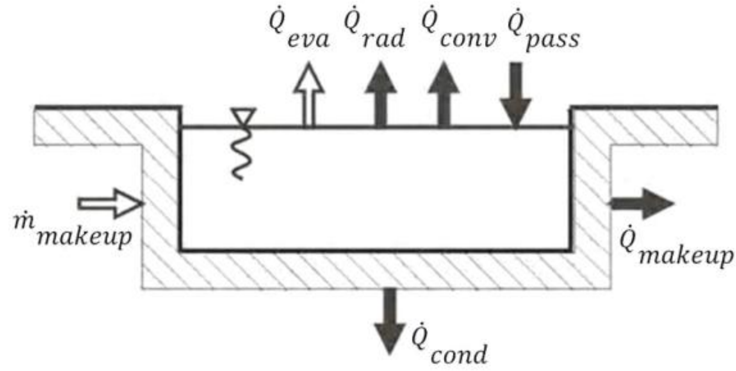
حيث: K_d نسبة الإشعاع اليومي الوسطي الشهري لسماء غائمة إلى الإشعاع اليومي الوسطي الشهري لسماء صافية.

ويحسب K_d بدلالة K_T دليل الإشراق (الوضوح) الشهري المأخوذ من بيانات الطقس لمدينة حلب:

$$K_d = 1.188 - 2.272\, K_T + 9.473\, K_T^{2} - 21.865\, K_T^{3} + 14.648\, K_T^{4} \quad (1\text{-}29)$$

1–6 ضياع الحرارة الناتج عن ماء التعويض:

ينتج عن ضياعات التبخير ضرورة لتقديم ماء تعويض بالإضافة إلى ضياع الماء الناتج عن حركة السباحين بالحوض، مما يتطلب تقديم ماء جديد بدرجة حرارة تساوي درجة حرارة ماء الحوض، وبالتالي يجب تقديم كمية من الطاقة لهذا الماء، الشكل (1–4).



الشكل (1–4) مخطط توضيحي لتغذية حوض السباحة بماء التعويض

يحسب ضياع الحرارة الناتج عن ماء التعويض بالعلاقة التالية[8]:

$$\dot{Q}_{makeup,day} = \dot{m}_{makeup,day}\ c_p\left[T_p - T_c\right] \quad ....(1\text{-}30)$$

$$\dot{Q}_{makeup,night} = \dot{m}_{makeup,night}\ c_p\left[T_p - T_c\right] \quad ....(1\text{-}31)$$

حيث:

c_p : السعة الحرارية للماء عند ضغط ثابت وتساوي ($4.2\ \frac{kJ}{kg.K}$) .

T_c : درجة حرارة الماء البارد وتستخدم لحساب الطاقة الضرورية لتسخين الماء إلى درجة الحرارة المطلوبة، وتحسب من العلاقة التالية:

$$T_c = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - \frac{T_{max} - T_{min}}{2}\ h\ cos\left[2\ \ \pi\ \left(\frac{n-2}{12}\right)\right] \quad ....(1\text{-}32)$$

حيث:

T_{min}، T_{max} درجة الحرارة الأصغرية والأعظمية على التوالي خلال العام، وبفرض أن درجة الحرارة الأصغرية تؤخذ في شهر شباط والأعظمية في شهر آب في نصف الكرة الشمالي (الحالة معاكسة لنصف الكرة الجنوبي)

n رقم الشهر المدروس.

h ثابت يتعلق بالموقع الجغرافي، ويساوي /1/ في نصف الكرة الشمالي.

$$\dot{m}_{makeup,day} = \dot{m}_{eva,day} + f_{makeup}\ \frac{\rho\ V_p}{7 \times 3600 \times N_{daylight}} \quad ....(1\text{-}33)$$

$$\dot{m}_{makeup,night} = \dot{m}_{eva,night} + f_{makeup}\ \frac{\rho\ V_p}{7 \times 3600 \times (24 - N_{daylight})} \quad .....(1\text{-}34)$$

حيث: ρ الكتلة النوعية للماء، ($\rho = 10^3\ kg/\ m^3$) وذلك على اعتبار أن الماء غير قابل للانضغاط ذو كتلة نوعية ثابتة.

V_p حجم الحوض.

ويحسب حجم الحوض بدلالة مساحة سطح الحوض وبافتراض العمق الوسطي له يساوي ($1.5\ m$) أي أن:

$$V_p = 1.5\ \ A_P \quad .... (1\text{-}35)$$

f_{makeup} نسبة ماء التعويض المدخلة إلى الحوض، ويعبر عنها كجزء من حجم الحوض المجدد كل أسبوع.

$\dot{m}_{\text{eva}}$ $[kg/s]$ معدل تبخر الماء من الحوض ويحسب وفق العلاقة التالية:

$$\dot{m}_{eva} = \frac{\dot{Q}_{eva}}{\lambda} \quad ....(1\text{-}36)$$

حيث: λ الحرارة الكامنة لتبخر الماء وتساوي ($2454\ \frac{kJ}{kg}$).

7-1 ضياع الحرارة بالتوصيل:

تحدث الضياعات الحرارية من أحوض السباحة بالتوصيل عبر الجدران والأرضية كما بالشكل (1-5)، وتعطى هذه الضياعات بالعلاقة التالية:

$$\dot{Q}_{cond} = k \ (A + A_w) \left[T_p - T_g\right] \qquad ....(1\text{-}37)$$

حيث:$k (W/m^2 . K)$ عامل انتقال الحرارة الإجمالي بين ماء الحوض والأرضية.

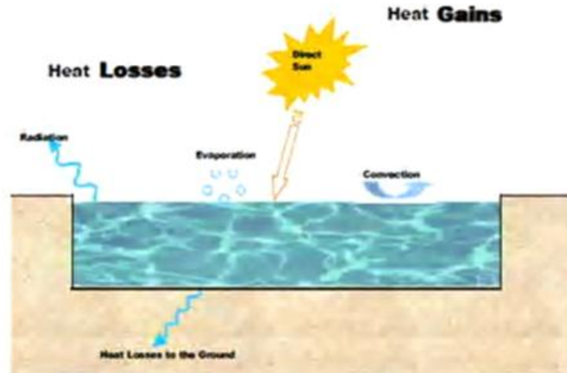
A_w (m^2) مساحة جدران الحوض.

T_g (K) درجة حرارة الأرض.

ومن أجل المسابح المكشوفة وبوجود العزل الجيد لجدران وأرضية الحوض فإن هذه الضياعات يكون لها تأثير بسيط على مقدار الطاقة الاجمالي، وبالتالي يؤخذ مقدار ضياع الطاقة الحرارية بالتوصيل عادةً كنسبة مئوية تقدر بـــ (3-5 %) من مجموع ضياعات الطاقة الكلية[5]:

$$\dot{Q}_{cond,day} = 0.05 \left[\dot{Q}_{eva,day} + \dot{Q}_{conv,day} + \dot{Q}_{rad,day} + \dot{Q}_{makeup,day}\right] \qquad ....(1\text{-}38)$$

$$\dot{Q}_{cond,night} = 0.05 \left[\dot{Q}_{eva,night} + \dot{Q}_{conv,night} + \dot{Q}_{rad,night} + \dot{Q}_{makeup,night}\right] \qquad ....(1\text{-}39)$$



الشكل (1-5) الربح والضياع الحراري لحوض سباحة مكشوف

8-1 الكسب الشمسي السلبي:

إن معدل الكسب الحراري من الإشعاع الشمسي على سطح أفقي من أجل مسبح مكشوف للهواء الخارجي يعطى بالعلاقة التالية[9]:

$$\dot{Q}_{pass} = \propto \ A_p \ S_t \qquad \text{...........(1-40)}$$

حيث:

S_t [W/m²]: شدة الإشعاع الشمسي الوسطي الشهري الساقط على سطح أفقي.

α: معامل الامتصاصية للماء، ويوضح الجدول (1-1) امتصاصية ماء حوض السباحة α كتابع لعمق الحوض ولون بورسلان الحوض[10].

الجدول (1-1) معامل امتصاصية الماء (α) في أحواض السباحة

لون البورسلان	α			
	العمق 0.5 m	العمق 1.0 m	العمق 1.5 m	العمق 2.0 m
أبيض	0.73	0.79	0.83	0.85
أزرق فاتح	0.84	0.87	0.90	0.91
أزرق غامق	0.93	0.95	0.96	0.97

9-1 الطاقة المخزنة في الحوض:

من أجل التوازن الكلي للطاقة، فإن اختلاف درجة حرارة الحوض بين الشروط البدائية والنهائية يجب أن يُؤخذ بعين الاعتبار، وبالتالي فإن كمية الحرارة (Q_t) المخزنة شهرياً في حوض السباحة يمكن أن تكتب بالعلاقة التالية:

$$Q_{t,day} = \dot{Q}_{tot,day} \ 30 \ N_{daylight} \ 3600 \qquad \text{...........(1-41)}$$

$$Q_{t,night} = \dot{Q}_{tot,night} \ 30 \ (24 - N_{daylight}) \ 3600 \qquad \text{...........(1-42)}$$

حيث:

$N_{daylight}$: عدد ساعات سطوع الشمس باليوم.

$$Q_t = Q_{t,day} + Q_{t,night} \qquad ....(1\text{-}43)$$

ومنه فإن درجة حرارة الحوض الشهرية يمكن أن تحسب بالإعتماد على كمية الحرارة الشهرية المخزنة بالحوض من العلاقة التالية[12]:

$$Q_t = c_p \ \rho_1 \ V_p \ [T_p - T_c] \qquad ....(1\text{-}44)$$

1–10 الطاقة اللازمة للتسخين المساعد في الحوض:

إن مقدار كمية الحرارة Q_{req} اللازمة للتسخين المساعد من أجل المحافظة على درجة الحرارة المطلوبة في الحوض (المريحة للسباحة 27 ^{o}C) يمكن إيجاده من العلاقة التالية:

$$Q_{req} = C_P \ \rho_1 \ V_p \ [27 - T_p] \qquad ....(1\text{-}45)$$

1–11 الشروط المناخية للحوض:

إن كمية الحرارة المفقودة من الحوض تعتمد على عدة عوامل وهي:

- درجة حرارة الجو المحيط.
- درجة حرارة ماء الحوض.
- الرطوبة النسبية.
- الضغط الجوي.
- سرعة الريح.

ومن أجل أحواض السباحة المكشوفة فإن الشروط المناخية تؤخذ من الأرصاد الجوية.

12-1 سرعة الريح:

تقاس سرعة الريح في أكثر الأحيان عند ارتفاع (10 m)، وقد تتغير هذه السرعة عند الانتقال إلى مناطق أكثر ارتفاعاً، كما أن للهضاب والمرتفعات وقمم الجبال تأثيراً واضحاً على سرعة الرياح، وفي المواقع المعرضة بشكل مباشر للرياح، فإن سرعة الرياح يمكن أن ترتفع إلى ما يعادل الضعف، وبالعكس عند الجهة التي لا تواجه الريح يمكن توقع انخفاض واضح في سرعة الريح، ويمكن أن يؤدي وجود أجسام أو نباتات أو عدم انتظام في مستوي الأرض إلى كبح شديد في سرعة الرياح.

ويمكن حساب سرعة الرياح $V(h_2)$ عند الارتفاع (h_2) عن طريق ما يسمى "بروفيل الطبقة الحدية اللوغاريتمي" وطول تموج الأرض (Z_0) وذلك من سرعة الريح $V(h_1)$ عند الارتفاع (h_1) حسب العلاقة التالية[8]:

$$V(h_2) = V(h_1) \ \frac{ln\left(\frac{h_2-d}{z_0}\right)}{ln\left(\frac{h_1-d}{z_0}\right)} \qquad \text{.............(1-46)}$$

وقد تسبب العوائق إزاحة للطبقة الحدية من الأرض، وهذه الإزاحة تتم مراعاتها بواسطة المقدار d ، وعندما تكون العوائق متبعثرة تصبح قيمة d مساوية للصفر، وإلا تقدر قيمة d بـــ 70% من ارتفاع العائق[8].

وطول تموج الأرض Z_0 يعطي الارتفاع الذي تُكبَح عنده الريح وتصبح السرعة صفراً، وهذا يعني أنه كلما زاد طول التموّج، كلما أصبح التأثير على الريح أكبر، أي أن سرعة الرياح تنخفض بوضوح بازدياد طول التموّج Z_0 الجدول (1 -2).

الجدول (1−2) طوال التموّج Z_0 وفق توزيع Davenport

المنطقة وفق تقسيم Davenport	طول التموّج Z_0 بالـ m	وصف السطح الخارجي
بحر	0.0002	بحر مفتوح
أرض مستوية	0.005	شواطىء المد والجزر
أرض مفتوحة	0.03	منطقة مستوية مفتوحة
مفتوحة إلى وعرة	0.1	منطقة زراعية ذات أشجار قليلة
منطقة متموجة	0.25	منطقة زراعية ذات أشجار كثيرة
منطقة شديدة التموّج	0.5	مواقف سيارات فيها زهور وشجيرات
مغلقة	1	غابات، قرى، ضواحي
مركز مدينة	2	مراكزالمدن ذات المباني العالية والمنخفخة

كما يمكن بطريقة أخرى أن نعالج بروفيل الطبقة الحدية، وهي العلاقة الأسية لـــ Hellmann[8].

باعتبار أن:

$$z = \sqrt{h_1 h_2} \quad ....(1\text{-}47)$$

$$\alpha = \frac{1}{ln\frac{z}{z_0}} \quad ....(1\text{-}48)$$

$$\frac{V(h_2)}{V(h_1)} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\alpha} \quad ....(1\text{-}49)$$

الفصل الثاني

أساليب تخفيض استهلاك الطاقة في أحواض السباحة

2-1 مقدمة:

أظهرت الدراسات أنه يمكن تخفيض نفقات التشغيل وكذلك توفير الطاقة والمحافظة على درجة الحرارة المريحة للسباحة من خلال طرق عديدة، كاستخدام مضخات أصغر عالية الكفاءة وتشغيل هذه المضخات لفترة أقل في اليوم، كما أن فقدان الحرارة الرئيسي من حوض السباحة يكون بالتبخر أثناء النهار، وبواسطة إشعاع الموجة الطويلة أثناء الليل، وهذه الضياعات يمكن تخفيضها بشكل فعّال، وبالتالي رفع درجة حرارة ماء الحوض.

وقد تبين من الدراسة النظرية أنه يوجد طرقتين رئيسيتين لتخفيض هذه الضياعات[18]:

2-1-1 تغطية سطح حوض السباحة وبالتالي تخفيض مقدار الضياعات الحرارية من حوض السباحة.

2-1-2 تخفيض سرعة الرياح.

2-2 تخفيض نفقات التشغيل:

هناك عدة طرق تؤدي إلى تخفيض نفقات التشغيل وتكاليف الصيانة، كتخفيض استهلاك الماء والحفاظ على حرارة مياه المسبح عند تسخينه.

2-2-1 اختيار حجم المضخة المناسب:

يقوم مالك الحوض أحياناً بتركيب مضخة للحوض أكبر من اللازم معتقداً أن الأكبر هي الأفضل، إلا أن استخدام المضخة الأكبر يمكن أن يزيد تكاليف الضخ والصيانة.

ولاختيار الحجم الصحيح للمضخة يجب الرجوع للمخططات التصميمية التي تلائم المميزات الهيدروليكية للمضخة في كل من الأنابيب وخصائص تدفق ماء الحوض، فالمضخات الأصغر (ذات الكلفة الأقل) يمكن أن تستعمل إذا خفّضنا المقاومة الهيدروليكية لنظام دوران ماء الحوض، وهذا يمكن تحقيقه من خلال الطرق التالية[16]:

1ـــ استبدال الفلتر بأكبر، والذي معدله على الأقل أكبر بـــ 50% من معدل تدفق الحوض المصمم.

2ـــ زيادة قطر أو إنقاص طول الأنابيب.

3ـــ استبدال وصلات الأنابيب بزاوية 45 درجة بدلاً من 90 درجة ، أو استخدام أنبوب مرن.

وقد أظهرت الدراسات أن هذه التبديلات يمكن أن تخفض حتى 40% من استهلاك المضخة للكهرباء.

2-2-2 تدوير الماء:

هناك طريقة أخرى لتوفير الطاقة وهي بتخفيض زمن تشغيل المضخة، لأن مضخة الحوض في أغلب الأحيان تعمل أكثر بكثير من الزمن الضروري للتشغيل.

إن السبب الكامن وراء تدوير الماء بالأحواض هو لتحسين المزج الكيميائي فيها، وإن هذا التدوير ضروري مادام هناك إضافة المواد الكيميائية للحوض، ويجب أن تمزج هذه المواد بأقل تدوير يومي ممكن.

كما أن تدوير الماء يبقي الحوض خالياً من الأوساخ والمعلقات بسحب الماء خارج وخلال الفلتر، إلا أنه ليس من الضروري أن نعيد تدوير الماء بشكل كامل كل يوم لكي نزيل هذه الشوائب، فيأخذ عادةً التدوير الكامل لماء الحوض زمناً مقداره من /6/ إلى /12/ ساعة باليوم، وهذا الزمن يمكن أن يكون أطول من الضروري لأن معظم النفايات إما أن تطفو أو تغوص ويمكن إزالتها إما بالقشط أو بالشفط، وهكذا فإنه وبعد ساعة من بدء تدوير ماء الحوض فإن معظم طاقة الضخ تبدد بتدوير الماء النظيف، إضافة إلى أن التدوير الأطول ليس ضرورياً لكي نخفف من نمو الطحالب، حيث يمكن التخلص من هذه الطحالب باستخدام بعض المواد الكيميائية بالماء، وكذلك تنظيف جدران الحوض.

وقد أظهرت الدراسات أن تخفيض فترة الضخ إلى /3/ ساعات يومياً يعطي نتائج مرضية لمالكي الأحواض، حيث يوفر هذا التخفيض وسطياً (60%) من فاتورة الكهرباء المصروفة على الضخ.

كما أن هناك معيار آخر بسيط لتوفير النقود وهو استخدام مؤقت دقيق للتحكم بدوران المضخة، إذ يمكن بذلك تشغيل المضخة لفترات محددة كل يوم[16].

2-3 تخفيض ضياعات التبخر:

2-3-1 تغطية سطح الحوض:

إن استخدام الغطاء الشمسي في تغطية سطح حوض السباحة، كان الأكثر نجاحاً لأنه أدى إلى تخفيض كبير في ضياعات التبخر واشعاع الموجة الطويلة، ونسبة هذا التخفيض اعتمدت على:

1ـــ نسبة سطح الحوض المغطى.

2ـــ سماكة ونوع مادة الغطاء المستخدم.

3ـــ زمن التغطية[17].

وعلى الرغم من أن تغطية الحوض يتطلب عملاً إضافياً، إلا أن التغطية هي الطريقة الأرخص لإبقاء ماء الحوض دافئاً، والتقليل من كمية الماء المفقودة عن طريق التبخر الشكل (2−1).

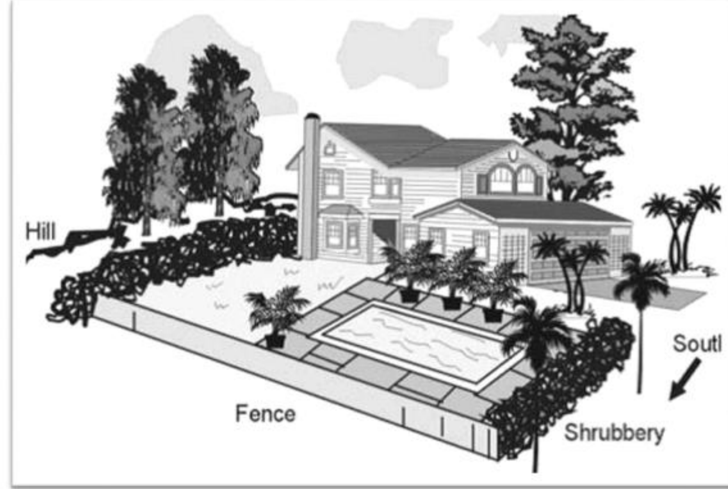


الشكل (2−1) نموذج لتغطية حوض السباحة

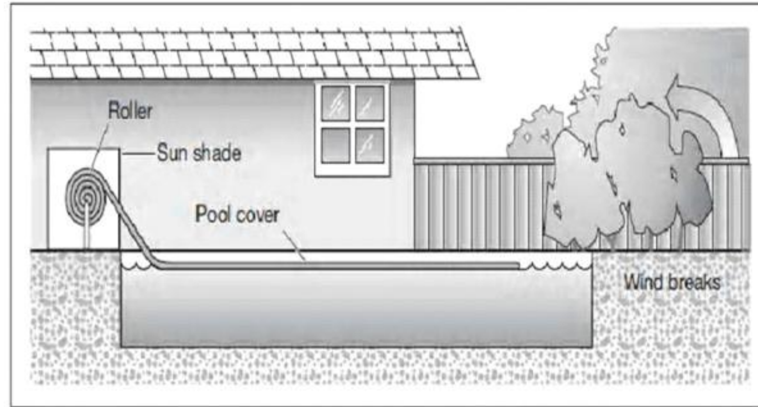
2−3−2 تخفيض سرعة الرياح:

إن تخفيض سرعة الرياح هي طريقة فعالة للتقليل من ضياعات التبخر والحمل، وبالتالي فإن مصدات الرياح المُشكّلة من الأشجار والشجيرات وحتى السياج يمكن أن تخفّض بشكل ملحوظ من تدفق الهواء على مستوى سطح حوض السباحة، وبالتالي فإن ضياعات التبخر يمكن أن تنخفض بحوالي 60% مما هو عليه بدون مصدات للرياح، وهكذا فإن إعادة ترتيب تضاريس الأرض يمكن أن يساهم إلى حدٍ ما بزيادة درجة حرارة حوض السباحة، وعلاوة على ذلك فإن المصد يفضل أن يكون عالياً وقريباً من الحوض بشكل كافٍ، بحيث يمنع الرياح

من العبور إلى سطح الحوض، ولا يمنع الطاقة الشمسية المفيدة من العبور إلى ماء الحوض كما في الأشكال (2-2) و(2-3).



الشكل (2-2) مخطط توضيحي لمصدات الرياح حول حوض السباحة



الشكل (2-3) مخطط استخدام الغطاء ومصدات الرياح في حوض السباحة

2-4 أنواع الأغطية الشمسية:

إن أغطية أحواض السباحة يجب تركيبها واستخدامها تبعاً لتوجيهات الشركة الصانعة، كما يجب أن تتصف بسهولة التركيب والنزع مع الأخذ بعين الاعتبار إمكانية استخدامها من قبل غير الأخصائيين.

لذلك يجب أن يكون هناك سهولةً في تركيب الغطاء فوق الحوض، وكذلك سهولةً في إزالته عندما نريد تخزين هذا الغطاء متى نشاء الشكل (2-4).



الشكل (2-4) تخزين غطاء حوض السباحة

هناك أنظمة مختلفة لتركيب وإزالة الغطاء، فمنها يتم عن طريق جهاز ميكانيكي يدوي أو عن طريق محرك كهربائي، الأشكال (2-5) و(2-6).



الشكل (2-5-a) جهاز ميكانيكي يدوي لوضع وإزالة الغطاء



الشكل(2-5-b) الآلية اليدوية لوضع وإزالة غطاء حوض السباحة



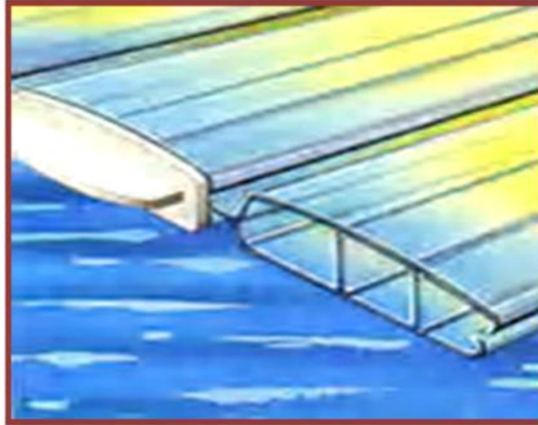
الشكل (2-6) الآلية الكهربائية لوضع وإزالة غطاء حوض السباحة

يوصى في أحواض السباحة باستخدام أغطية رقيقة ذات انعكاسية منخفضة وذات ناقلية حرارية منخفضة، وذلك لرفع درجة حرارة ماء الحوض، وهذا النوع من أغطية الحوض يطلق عليه عادةً اسم الأغطية الشمسية (البطانيات الشمسية) الشكل (2-7).



الشكل (2−7) حلقات شمسية على سطح حوض السباحة

إن أحد أنواع الأغطية الشمسية والذي ينصح باستخدامه بشكل أساسي في الليل يكون مصنوعاً من عازل رغوي (الفوم) والذي يملك خاصية مرغوب بها في الليل، ولا ينصح باستخدامه في النهار لأنه يمنع عبور الإشعاع الشمسي إلى الحوض الشكل (2−8-a-b) [19].

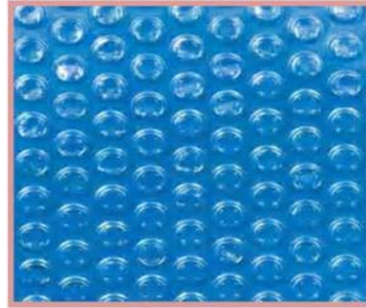


الشكل (2−8−a) نموذج لشفرات الغطاء التي تحقن بالفوم

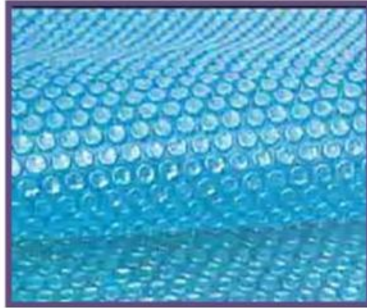


الشكل (2-8-b) نموذج لتغطية الحوض بالفوم

أما النوع الآخر من هذه الأغطية فيكون مصنوع من رقائق بلاستيكية تحتوي على فقاعات هوائية، ولكن هذه الرقائق لاتَعزُل بشكل جيد كما في النوع الأول (الفوم)، كما أنها تملك ناقلية حرارية منخفضة نوعاً ما، بالإضافة إلى أنها تسمح بعبور 60% من الإشعاع الشمسي عند زوايا شمسية منخفضة، وإلى 80% عند زوايا شمسية مرتفعة الشكل (2-9-a-b) [21].

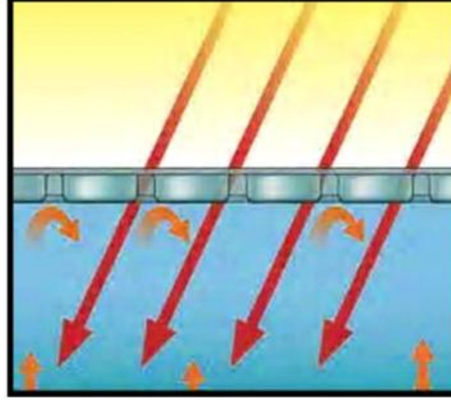


الشكل (2-9-a)



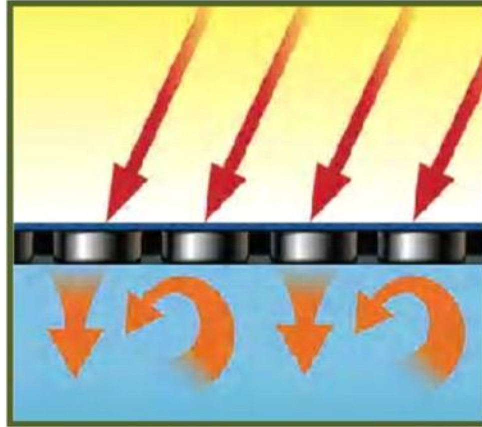
الشكل (2-9-b)

وعليه نجد أن استخدام الغطاء الشفاف نهاراً يقلل من كمية امتصاص الطاقة الشمسية بمقدار من (10-15)% الشكل (2−10).



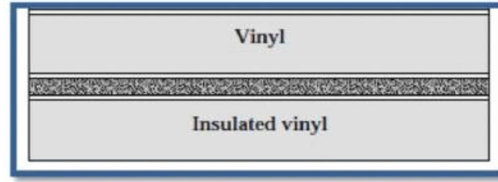
الشكل (2−10) الغطاء الشفاف في حوض السباحة

أما الغطاء الكتيم فيمكن أن يخفض من كمية امتصاص الطاقة الشمسية بمقدار من (20-40)% الشكل (2−11) [21].



الشكل (2−11) الغطاء الكتيم في حوض السباحة

وهناك نوع آخر من الأغطية تصنع من مواد أثقل وتدعى أغطية الفينيل، ويمكن استخدام أغطية الفينيل بطبقة رقيقة من عازل مرن محصورة بين طبقتين من الفينيل الشكل (2−12).

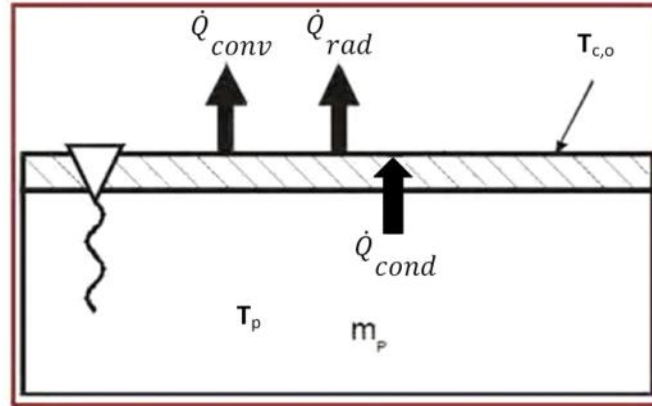


الشكل (2–12) تركيبة غطاء الفينيل

2–5 الموازنة الحرارية لحوض السباحة الخارجي المغطى:

إن (85%) تقريباً من فقدان الحرارة لجميع الأحواض يحدث عند السطح، وغالباً عن طريق التبخر إلى الهواء، وبالإشعاع إلى السماء، وتغطية الحوض هي وسيلة جيدة للحفاظ على الحرارة والماء في الحوض، وذلك بتخفيض تبخر الماء من الحوض عندما لايكون مستخدماً، وكذلك تخفيض ضياع الحرارة الإشعاعية.

في نمذجتنا البرمجية سنفترض أن الغطاء يستخدم أثناء الليل فقط ويزاح أثناء النهار، وبالتالي فإن كمية الطاقة المختزنة في حوض السباحة خلال النهار تبقى ثابتة، أما كمية الطاقة المختزنة خلال الليل فتتغير عما هي عليه في حال كون حوض السباحة غير مغطى، والشكل (2–13) يوضح الدراسة التخطيطية لجميع معدلات ضياع الحرارة من الحوض.



الشكل (2–13) ضياعات الطاقة الحرارية من الحوض بوجود الغطاء

وبالتالي يمكن كتابة معادلات توازن الطاقة النهارية (عند رفع الغطاء)، والليلية (عند وضع الغطاء)، والطاقة الكلية لحوض سباحة مغطى على الترتيب وفق المعادلات التالية:

$$\dot{Q}_{tot,off} = \dot{Q}_{eva,off} + \dot{Q}_{conv,off} + \dot{Q}_{rad,off} + \dot{Q}_{makeup,off} + \dot{Q}_{cond,off} - \dot{Q}_{pass} \quad ....(2-1)$$

$$\dot{Q}_{tot,on} = \dot{Q}_{cond,c,on} + \dot{Q}_{cond,w,on} + \dot{Q}_{makeup,on} \quad ....(2-2)$$

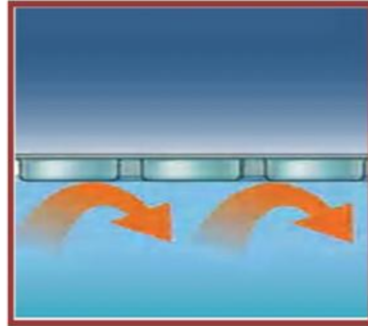
$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_{tot,off} + \dot{Q}_{tot,on} \quad ....(2-3)$$

حيث: $\dot{Q}_{tot,off}$: الطاقة الكلية المختزنة بالحوض خلال النهار عندما يكون الحوض غير مغطى.

$\dot{Q}_{tot,on}$: الطاقة الكلية المختزنة بالحوض خلال الليل عندما يكون الحوض مغطى.

2-5-1 ضياع الحرارة بالتبخر:

إن معدل الضياع الحراري بواسطة التبخر من حوض السباحة المغطى ليلاً، يحدث فقط خلال النهار عندما يكون الغطاء مرفوعاً، الأشكال (2-14-a,b)



الشكل (2- 14- b)

منع تبخر الماء بوجود الغطاء



الشكل (2- 14- a)

تبخر الماء من الحوض غير المغطى

ويعطى معدل الضياع الحراري بواسطة التبخر بالعلاقة التالية:

$$\dot{Q}_{eva,off} = A_p \, h_{e,off} \left[P_{v.sat} - P_{v.amb,day}\right] (1.2) \quad ....(2\text{-}4)$$

حيث:

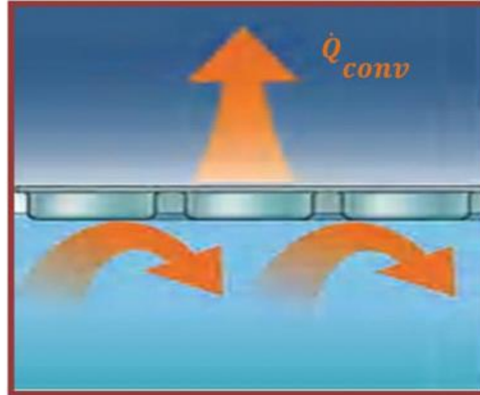
$h_{e,off} = h_{e,day}$ $[W/m^2.pa]$ معامل انتقال الكتلة بالتبخر نهاراً، ويحسب من العلاقة (1-6).

$P_{v.sat}$ $[Pa]$ الضغط الجزئي لبخار الماء المشبع عند درجة حرارة الحوض، ويحسب من العلاقة (1-9).

$P_{v.amb,day}$ $[Pa]$ الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة الوسط المحيط نهاراً، ويحسب من العلاقة (1-10).

2-5-2 ضياع الحرارة بالحمل:

إن تغطية سطح حوض السباحة يخفّض من المعدل الكلي لضياع الحرارة بالحمل، حيث يبقى معدل ضياع الحرارة بالحمل ثابتاً خلال النهار عندما يكون الغطاء مرفوعاً، وتنخفض قيمته خلال الليل عندما يكون الحوض مغطى، وفي هذه الحالة يتم ضياع الحرارة بالحمل بين سطح الغطاء الخارجي والوسط المحيط بالحوض، الشكل (2-15).



الشكل (2-15) ضياع الحرارة بالحمل من سطح الغطاء الخارجي إلى الوسط المحيط

ويعطى معدل ضياع الحرارة بالحمل: النهاري (عند رفع الغطاء)، والليلي (عند وضع الغطاء)، والكلي، بالمعادلات التالية:

$$\dot{Q}_{conv,off} = A_p\, h_{conv,off}\left(T_p - T_{a,off}\right) \qquad ....(2\text{-}5)$$

$$\dot{Q}_{conv,on} = A_p\, h_{conv,on}\left(T_{c,o} - T_{a,night}\right) \qquad ....(2\text{-}6)$$

حيث:

$h_{conv,off}$، $h_{conv,on}$: معامل انتقال الحرارة بالحمل النهاري والليلي ويحسب بالعلاقة التالية:

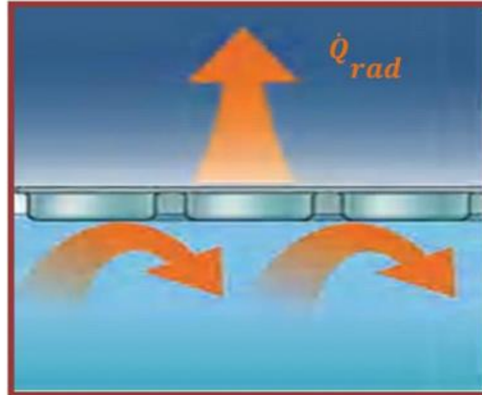
$$h_{conv,off} = 3.1 + 4.1\ V_{0.3(off)} \qquad ....(2\text{-}7)$$

$$h_{conv,on} = 3.1 + 4.1\ V_{0.3(on)} \qquad ....(2\text{-}8)$$

$T_{c,o}$: درجة حرارة سطح الغطاء الخارجي الملامس للوسط المحيط.

2-5-3 ضياع الحرارة بالإشعاع:

تم حساب ضياع الحرارة من الحوض الناتج عن اشعاع موجة طويلة، باعتباره يتألف من جزئين: نهاري (عند رفع الغطاء)، وليلي (عند وضع الغطاء)، وقد اعتبرنا أن ماء الحوض تحت الغطاء يعامل كسطح إشعاعي فعّال.



الشكل (2-16) ضياع الحرارة بالإشعاع من سطح الغطاء الخارجي إلى الوسط المحيط

وبالتالي فإن معدل ضياع الحرارة بالإشعاع يعطى بالمعادلات التالية:

$\dot{Q}_{rad,off} = A_p \ \varepsilon_w \ \sigma \, [(T_p)^4 - (T_{sky,off})^4]$ ....(2-9)

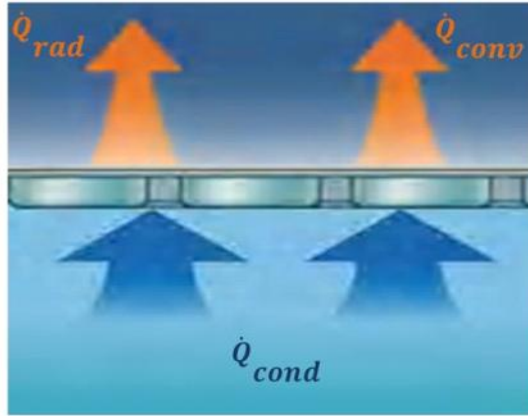
$\dot{Q}_{rad,on} = A_p \ \varepsilon_c \ \sigma \, [(T_{c,o})^4 - (T_{sky,on})^4]$ ....(2-10)

حيث:

ε_c إصدارية (انبعاثية) الغطاء من أجل الموجة الطويلة، وهي تعتمد على مادة الغطاء، وتتراوح قيمتها بين (0.4-0.9).

ويتم حساب $T_{sky,off}$ ، $T_{sky,on}$ بالاعتماد على المعادلات (20-1 وحتى 29-1).

أما $T_{c,o}$ درجة حرارة سطح الغطاء الخارجي فيتم حسابها من معادلة توازن الطاقة للغطاء، حيث يكون معدل ضياع الحرارة بالتوصيل من الحوض عبر الغطاء مساوياً إلى: مجموع معدل ضياع الحرارة بالحمل ومعدل ضياع الحرارة بالإشعاع من سطح الغطاء إلى الوسط المحيط، الشكل (2–17).



الشكل (2–17) ضياع الحرارة بالحمل والإشعاع بين سطح الغطاء الخارجي والوسط المحيط بالحوض

ومنه يمكن أن نكتب معادلة توازن الطاقة للغطاء بالشكل التالي:

$$\dot{Q}_{cond,c,on} = \dot{Q}_{conv,on} + \dot{Q}_{rad,on} \qquad ....(2\text{-}11)$$

ويتم حساب معدل ضياع الحرارة بالتوصيل عبر الغطاء $\dot{Q}_{cond,c,on}$ من المعادلة التالية:

$$\dot{Q}_{cond,c,on} = A_p \left[\frac{T_p - T_{c,o}}{\frac{\delta_{cov,1}}{\lambda_{cov,1}} + \frac{\delta_{cov,2}}{\lambda_{cov,2}}} \right] \qquad ....(2\text{-}12)$$

حيث:

$\delta_{cov,1}$ $\lambda_{cov,1}$ سماكة وايصالية الطبقة العازلة من الغطاء.

$\delta_{cov,2}$ $\lambda_{cov,2}$ سماكة وايصالية الفقاعات الهوائية الموجودة بالغطاء.

2-5-4 ضياع الحرارة الناتج عن مياه التعويض:

إن تغطية حوض السباحة ليلاً يقلل من ضياع الحرارة الاجمالي لأن التبخر تم منعه بواسطة الغطاء، مما يؤدي إلى تخفيض كمية ماء التعويض المضافة إلى الحوض، وبالتالي فإن معدل ضياع الحرارة الناتج عن مياه التعويض نهاراً وليلاً يعطى بالعلاقات التالية:

$$\dot{Q}_{makeup,off} = \dot{m}_{makeup,off} \; C_p \left[T_p - T_c\right] \qquad ....(2\text{-}13)$$

$$\dot{Q}_{makeup,on} = \dot{m}_{makeup,on} \; C_p \left[T_p - T_c\right] \qquad ....(2\text{-}14)$$

$$\dot{m}_{makeup,off} = \dot{m}_{eva} + f_{makeup} \frac{\rho \; V_p}{7 \times 3600 \times N_{daylight}} \qquad ....(2\text{-}15)$$

$$\dot{m}_{makeup,on} = f_{makeup} \frac{\rho \; V_p}{7 \times 3600 \times (24 - N_{daylight})} \qquad ....(2\text{-}16)$$

$$\dot{m}_{eva} = \frac{\dot{Q}_{eva,off}}{\lambda} \qquad ....(2\text{-}17)$$

2–5–5 ضياع الحرارة بالتوصيل:

إن معدل ضياع الحرارة بالتوصيل لحوض سباحة مغطى نهاراً وليلاً يعطى بالعلاقات التالية:

$$\dot{Q}_{cond,off} = 0.05\left[\dot{Q}_{eva,off} + \dot{Q}_{conv,off} + \dot{Q}_{rad,off} + \dot{Q}_{makeup,off}\right] \quad ....(2\text{-}18)$$

$$\dot{Q}_{cond,on} = 0.05\left[\dot{Q}_{cond,c,on} + \dot{Q}_{makeup,on}\right] \quad ....(2\text{-}19)$$

2–6 كمية الحرارة المخزنة في الحوض المغطى:

$$Q_{t,off} = \dot{Q}_{tot,off}\ 30\ N_{daylight}\ 3600 \quad ....(2\text{-}20)$$

$$Q_{t,on} = \dot{Q}_{tot,on}\ 30\ (24 - N_{daylight})\ 3600 \quad ....(2\text{-}21)$$

$$Q_t = Q_{t,off} + Q_{t,on} \quad ....(2\text{-}22)$$

$$Q_t = C_P\ \rho_1\ V_p\ [T_p - T_c] \quad ....(2\text{-}23)$$

2–7 كمية الحرارة اللازمة للتسخين المساعد في الحوض المغطى:

$$Q_{req} = C_P\ \rho_1\ V_p\ [27 - T_p] \quad ....(2\text{-}24)$$

الفصل الثالث

النمذجة الحاسوبية

3-1 مفهوم النمذجة:

أدخل التطور التقني الكبير في هندسة الحاسوب وعلومه في الأعوام الأخيرة مفاهيم جديدة في الأتمتة، منها تخطيط الأتمتة قبل إنجازها إذ أصبحت أتمتة أي عملية أو منظومة تمر بمرحلتين أساسيتين هما النمذجة (*Modeling*) والمحاكاة (*Simulation*) قبل البدء بتنفيذ تلك المنظومة.

النمذجة هي المرحلة التي يتم فيها بناء نموذج رياضي للمنظومة المطلوب أتمتتها، وهذا النموذج يصف السلوك الديناميكي لهذه المنظومة وصفاً كاملاً، ويتم إنجاز ذلك باستخدام عدة طرائق رياضية تعتمد على مبدأ حفظ مصونية الطاقة وعلى بنيتها الديناميكية وطريقة ترابط العناصر المكونة لها.

أما **المحاكاة** فتتضمن بناء منظومة مصغرة، لها مواصفات المنظومة الأصلية نفسها المطلوب أتمتتها وتحاكيها في السلوك، ويمكن إنجاز ذلك ببناء نموذج إلكتروني مخبري باستخدام العناصر الإلكترونية الفعالة المتوفرة، أو باستخدام الحاسوب وكتابة برنامج بإحدى لغات البرمجة المعتمدة، ثم تشغيل هذا النموذج بالشروط المحيطية نفسها المطلوب تشغيل المنظومة الأصلية فيها.

الفائدة من إجراء النمذجة والمحاكاة هي التأكد من صحة النتيجة النهائية لعمل المنظومة، ويمكن تصحيح أي خطأ وظيفي بضبط النموذج الرياضي المستعمل وبتعديل البرنامج بلا أي كلفة إضافية.

3-2 برنامج *EES* (*Engineering Equation Solver*):

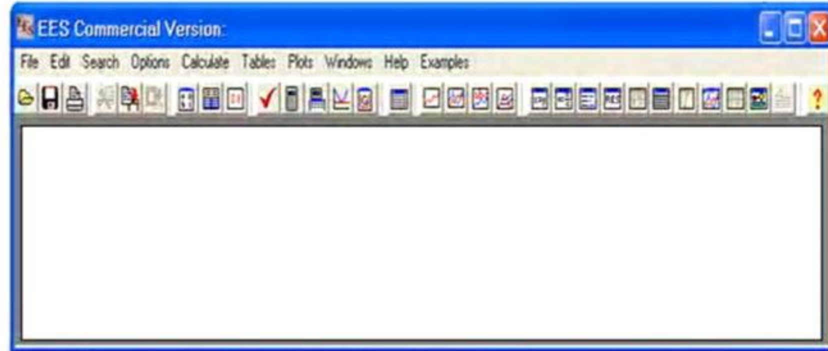
يستخدم برنامج *EES* للنمذجة الرياضية في المسائل الحرارية، بالإضافة إلى حل المعادلات الرياضية الخطية وغير الخطية ورسم المخططات البيانية يحتوي البرنامج على قاعدة بيانات تتضمن الخواص الحرارية والفيزيائية لمعظم وسائط العمل المستخدمة في الآلات الحرارية وآلات التبريد، وهو من أهم البرامج المستخدمة في البحث العلمي ورسائل الدكتوراه والماجستير[14].

3-2-1 لمحة عن برنامج *EES*:

تتوزع أوامر برنامج *EES* على عشرة قوائم رئيسية، وشريط الأدوات لهذا البرنامج يقع تحت القوائم الرئيسية ويحتوي على أزرار صغيرة مهمتها الوصول السريع الى أمر ما مهم.

عند تحريك الماوس فوق الزر والانتظار لبضع ثواني تظهر بعض الكلمات لتشرح وظيفة ذلك الزر ويمكن إخفاء شريط الأدوات عند الحاجة أو إعادة إظهاره باستخدام نافذة *Preferences* الواقعة ضمن القائمة الرئيسية *options*.

والشكل (3-1) يبين شريط الأدوات في برنامج *EES*:

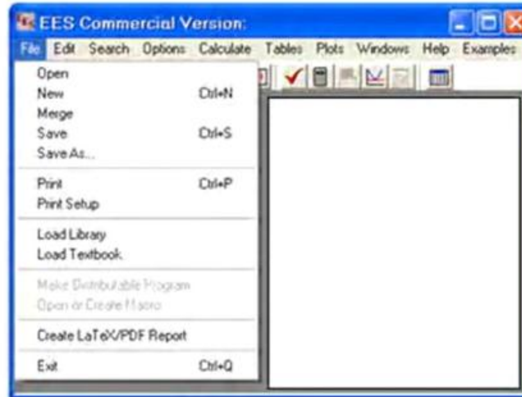


الشكل (3-1) شريط الأدوات في برنامج *EES*

3-2-2 القوائم الرئيسية للبرنامج:

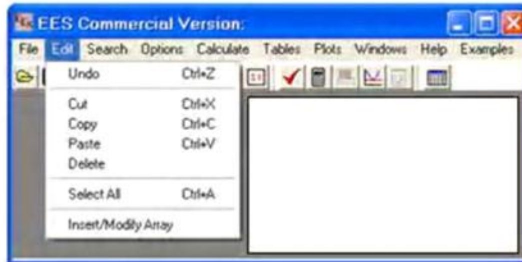
1- قائمة *System*: تتوضع عند أيقونة *EES* على الزاوية العليا الرئيسية، هذه القائمة ليست جزءا من *EES* ولكنها إحدى ميزات نظام التشغيل *Windows* وظيفتها (تحريك، تصغير، تكبير، إغلاق....) النافذة الرئيسية للبرنامج.

2- قائمة *File*: تقدم أوامر التحميل، الدمج، وتخزين الملفات وطباعتها، كما بالشكل (3-2).



الشكل (3-2) قائمة File في برنامج *EES*

3- قائمة *Edit*: تقدم أوامر التحرير كقطع ونسخ ولصق المعلومات، كما بالشكل (3-3).



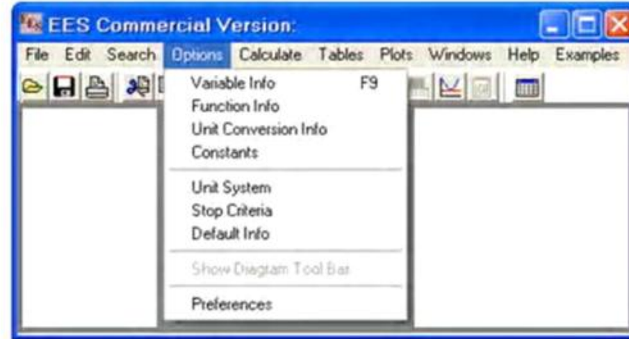
الشكل (3-3) قائمة Edit في برنامج *EES*

4- قائمة *Search*: تقدم أوامر البحث والاستبدال للمتحولات والمعطيات في نافذة المعادلات، كما بالشكل (3-4).



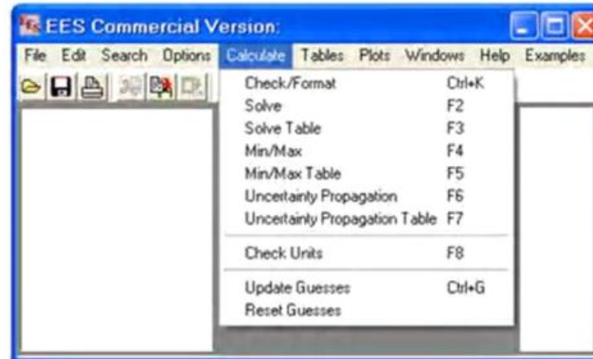
الشكل (3-4) قائمة Search في برنامج *EES*

5-قائمة *Options*: تقدم أوامر ضبط وتعيير قيم المتغيرات ونظام الواحدات المستخدمة والتوابع وإيجاد خواص المواد ......، الشكل (3-5).



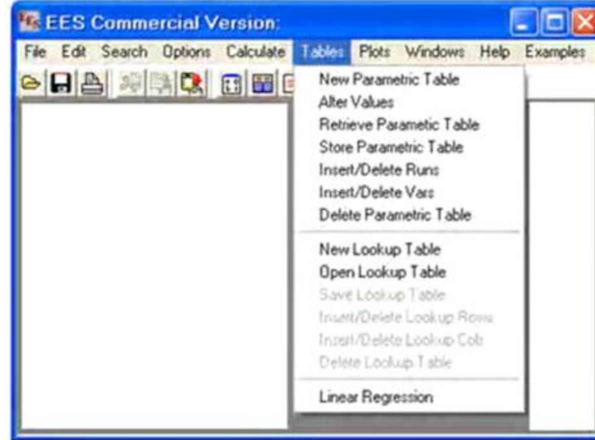
الشكل (3-5) قائمة Options في برنامج *EES*

6- قائمة *Calculate*: تستخدم لتقديم حلول المعادلات وإيجاد القيم المجهولة.



الشكل (3-6) قائمة Calculate في برنامج *EES*

7- قائمة *Table*: تحتوي أوامر لإنشاء جداول وتعديلها ولها استخدامات مهمة جداً لحل المعادلات عند قيم مختلفة لأحد المتحولات، الشكل (3-7).



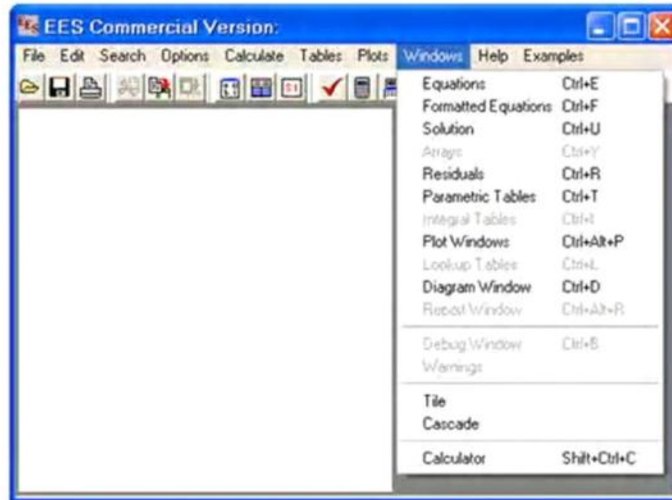
الشكل (3-7) قائمة Table في برنامج *EES*

8- قائمة *Plot*: تحتوي أوامر لرسم وتعديل المخططات البيانية لمتحولات مختلفة وعند قيم مختارة وتعدلها عند الضرورة، الشكل (3-8).



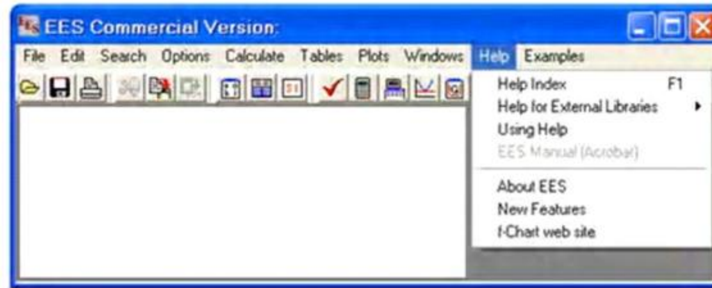
الشكل (3-8) قائمة Plot في برنامج *EES*

9- قائمة *Windows*: تستخدم لاستدعاء واظهار أي من النوافذ السابقة (الجداول المعادلات، المخططات البيانية وغيرها)، الشكل (3-9).



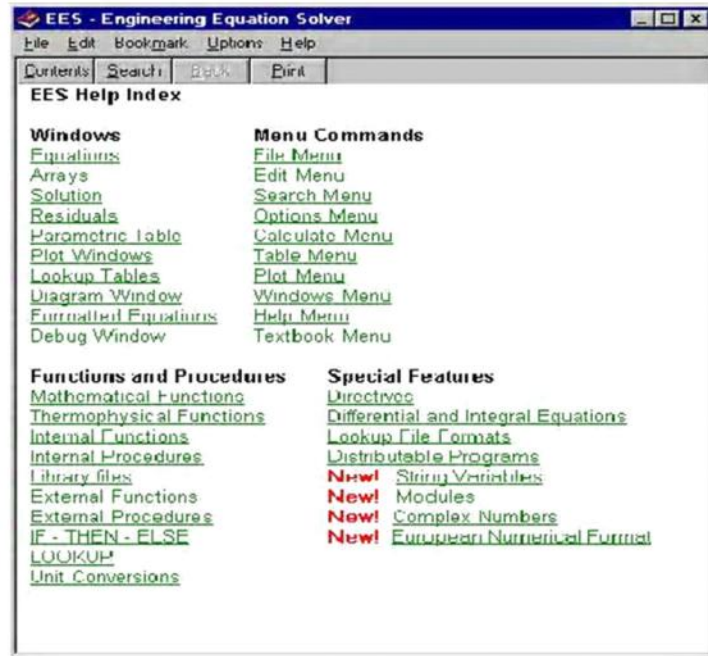
الشكل (3−9) قائمة Windows في برنامج *EES*

10- قائمة *Help*: تستخدم لتقديم المساعدة لكل الأوامر السابقة، الشكل (3−10).



الشكل (3−10) قائمة Help في برنامج *EES*

♦ يوجد شرح مفصل لتفسير أي جانب من جوانب برنامج *EES* بالضغط على زر (F_1)، حيث تظهر نافذة المساعدة المتعلقة بالنافذة الرئيسية، وبالضغط على زر المحتويات المتضمنة في هذه النافذة سيظهر فهرس المساعدة في الأسفل وعند الضغط على الكلمة المشار إليها بخط (يظهر هذا الخط بلون أخضر أو بلون شاشة العرض) سنحصل المساعدة المتعلقة بتلك المادة، الشكل (3−11).



الشكل (3−11) نافذة المساعدة في برنامج EES

3−2−3 ملاحظات عند كتابة المعادلات في برنامج EES:

♦ لا يوجد فرق بين الرموز الصغيرة والكبيرة.

♦ العبارات التوضيحية يجب أن توضع إما:

ـــ بين قوسين { } ـــ أو ضمن إشارتي تنصيص " ".

♦ المتحولات يجب أن تبدأ بحرف ويمكن أن تحتوي بعده أي حرف باستثناء الرموز التالية : ({ ; } " : ^ + / * ، ()).

♦ يمكن كتابة أكثر من معادلة على نفس السطر على أن نفصل فيما بينها بفاصلة منقوطة.

♦ عدد الحروف الأعظمية المسموحة في السطر هي 225.

♦ لرفع القوة نستخدم ^ أو **.

♦ ليس هناك أي أهمية لترتيب المعادلات.

♦ واحدات الثوابت يمكن إدخالها مع الأرقام مباشرة ضمن قوسين مثل [m/s^2].

♦ نستخدم الرموز التالية عند الكتابة داخل البرنامج:

$$m_1 \Longrightarrow m_1$$

$$\dot{m} \Longrightarrow m_dot$$

♦ يمكن استخدام الرموز الإغريقية بكتابة اسمها الفعلي مثلاً :

$$\alpha = 1 \Longrightarrow alpha = 1$$

3-2-4 نافذة كتابة المعادلات:

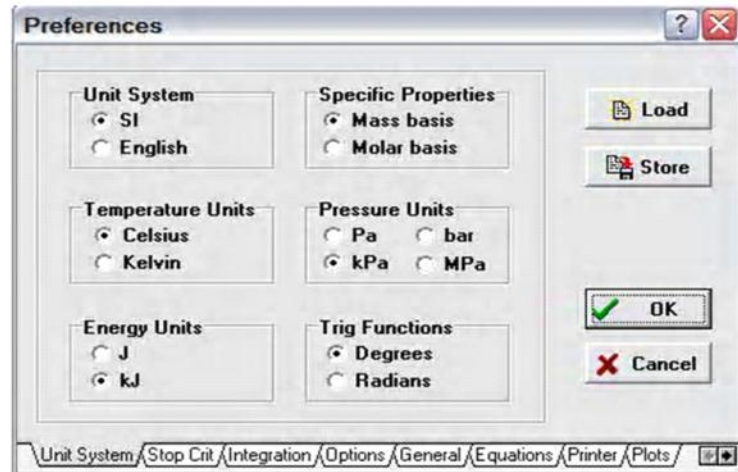
النافذة التي يمكن كتابة المعادلات ضمنها تدعى نافذة المعادلات وهي تظهر بشكل آلي عند فتح البرنامج *EES*، الشكل (3-12).



الشكل (3-12) نافذة كتابة المعادلات في برنامج *EES*

3-2-5 نظام واحدات العمل:

لمعرفة أو لتعيير نظام الواحدة المستخدم في البرنامج نختار الأيقونة *Unit system* من قائمة *Options* فتظهر النافذة الموضحة بالشكل (3-13) والتي يمكن من خلالها تحديد الواحدات المستخدمة.



الشكل (3−13) نافذة تعيير نظام الواحدات لبرنامج (EES)

3−2−6 حل المعادلات غير الخطية:

إن الميزة الأساسية لبرنامج *EES* هي حل مجموعة المعادلات الجبرية غير الخطية ولإثبات هذه الإمكانية نقوم بتشغيل برنامج *EES* وإدخال المسألة الموضحة في الشكل (3−14) كمثال في نافذة المعادلات.



الشكل (3−14) مثال لحل المعادلات غير الخطية

يمكن إظهار المعادلات السابقة بعد كتابتها بشكلها الرياضي في نافذة المعادلات بصيغتها الكتابية باختيار أمر نافذة المعادلات المنسقة من قائمة النوافذ الشكل (3−15)

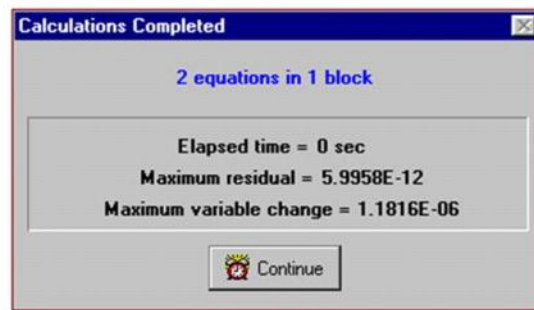
Formatted Equations

$$X \cdot \ln(X) = Y^3$$

$$\sqrt{X} = \frac{1}{Y}$$

الشكل (3−15) نافذة المعادلات المصاغة في البرنامج (EES)

باختيار الأمر حل من قائمة الحساب، ستظهر نافذة الحوار في إشارة إلى تقدم عملية الحل وعندما تكتمل الحسابات يتغير الزر من إلغاء إلى متابعة، الشكل (3−16).



الشكل (3−16) نافذة إتمام الحسابات في البرنامج (EES)

بالنقر على زر المتابعة يتم عرض حل هذه المجموعة من المعادلات أي عرض قيم جميع المتحولات، الشكل (3−17).

Solution

X = 1.467   Y = 0.8255

الشكل (3−17) نافذة الحلول في البرنامج (EES)

3−3 النمذجة الحاسوبية لحوض سباحة غير مغطى:

لقد تمت دراسة حالة بقيم عددية على حوض سباحة مكشوف مساحة سطحه m^2 (10×6) وعمقه الوسطي (1.5 m) ضمن مدينة حلب الواقعة على خط العرض (36.12) وخط الطول (37.1).

إن أهم البارامترات المناخية اللازمة لدراسة التوازن الحراري لنموذج الحوض هي:

- درجة الحرارة الأعظمية الشهرية للهواء المحيط بالحوض.
- درجة الحرارة الأصغرية الشهرية للهواء المحيط بالحوض.
- عدد ساعات النهار.
- شدة الإشعاع الشمسي الوسطي الشهري الساقط على سطح أفقي.
- الرطوبة النسبية الوسطية الشهرية.
- الضغط الجوي الوسطي الشهري للوسط المحيط.
- دليل الوضوح (السماء الصافية) الوسطي الشهري.
- سرعة الرياح الوسطية الشهرية على ارتفاع (h_2=10 m).

ولحساب سرعة الرياح على ارتفاع h_1=30 cm من سطح الحوض سنعتمد طريقة Hellmann، حيث سنختار قيمة طول التموّج Z_o=0.1 لمنطقة زراعية ذات أشجار قليلة اعتماداً على الجدول (1−2).

ويكون لدينا وفق ذلك[8]:

$$z = \sqrt{h_1\, h_2} = \sqrt{0.3 \times 10} = 1.73$$

$$\alpha = \frac{1}{ln\frac{z}{z_O}} = \frac{1}{ln\frac{1.73}{0.1}} = 0.35$$

$$\frac{V(h_2)}{V(h_1)} = \left(\frac{10}{0.3}\right)^{0.35} = 3.4$$

$$V(h_1) = \frac{V(h_2)}{3.4} = 0.294 \times V(h_2)$$

مع العلم أن:

$\varepsilon_W = 0.96$ اصدارية الماء.

$\sigma = 5.669\times18^{-8}$ $(W/(m^2.K^4))$ ثابت بولتزمان.

$c_p = 4.2$ (kJ/ kg.K) السعة الحرارية للماء.

$\lambda = 2454$ kJ/ kg الحرارة الكامنة لتبخر الماء.

كما تم اعتماد قيمة امتصاصية ماء حوض السباحة للأشعة الشمسية من الجدول (1-1) α=0.90 على أساس: عمق الحوض (1.5 m)، ولون البورسلان (أزرق فاتح)، والشكل (3-18) يبين نافذة المدخلات للبارامترات المناخية إلى البرنامج الحاسوبي المستخدم بالنمذجة لحوض السباحة المدروس غير المغطى[13]:

Parametric Table

Without cover

1..12	1 Month	2 $T_{a,max}$ [Co]	3 $T_{a,min}$ [Co]	4 $N_{daylight}$ [hr.]	5 S_t [W/m2]	6 P1 [kpa]	7 ϕ [-]	8 K_T [-]	9 V_1 [m/s]
Run 1	1	8.56	1.89	10	243	95.2	0.71	0.47	3.7
Run 2	2	10.01	2.03	10.9	330	95.1	0.643	0.5	4
Run 3	3	14.73	5.03	11.9	443	94.9	0.567	0.53	4.2
Run 4	4	20.99	10.18	13.1	543	94.7	0.501	0.55	4.2
Run 5	5	26.17	14.9	14	630	94.6	0.448	0.59	3.9
Run 6	6	30.63	19.75	14.5	720	94.4	0.384	0.66	3.7
Run 7	7	34.98	23.57	14.3	710	94.1	0.316	0.67	3.8
Run 8	8	34.24	23.42	13.5	653	94.2	0.341	0.65	3.7
Run 9	9	29.92	19.64	12.4	573	94.6	0.373	0.64	3.2
Run 10	10	23.76	14.74	11.3	406	95	0.461	0.56	3.3
Run 11	11	16.39	8.36	10.2	283	95.2	0.571	0.51	3.1
Run 12	12	10.58	3.69	9.76	216	95.3	0.687	0.45	3.7

الشكل (3-18) نافذة مدخلات البارامترات المناخية

4-3 كود البرنامج المصمم لدراسة نمذجة التوازن الحراري لحوض السباحة المكشوف وبدون غطاء:

```
Q_dot_tot_day=Q_dot_eva_day+Q_dot_conv_day+Q_dot_rad_day
            +Q_dot_makeup_day+Q_dot_cond_day-Q_dot_pass

Q_dot_tot_night=Q_dot_eva_night+Q_dot_conv_night

     +Q_dot_rad_night+Q_dot_makeup_night+Q_dot_cond_night

Q_dot_pass=A_p*(S_t-rho*S_t)

A_p=L*B

L=10

B=6

rho=0.1

"T_a_max=8"

"T_a_min=4"

DELTAT=T_a_max-T_a_min

T_a_day=T_a_max-0.2*DELTAT

T_a_night=T_a_min+0.3*DELTAT

Q_dot_conv_day=A_p*h_conv_day*(T_p-T_a_day)

h_conv_day=3.1+4.1*V_day

Q_dot_conv_night=A_p*h_conv_night*(T_p-T_a_night)

h_conv_night=3.1+4.1*V_night
```

```
L_sky_day=sigma*(T_sky_day+273.2)^4

L_sky_day=(1-c)*L_clear_day+c*L_cloudy_day

L_clear_day=5.31*10^(-13)*(T_a_day+273.2)^6

L_cloudy_day=0.96*sigma*(T_a_day+273.2-5)^4

L_sky_night=sigma*(T_sky_night+273.2)^4

L_sky_night=(1-c)*L_clear_night+c*L_cloudy_night

L_clear_night=5.31*10^(-13)*(T_a_night+273.2)^6

L_cloudy_night=0.96*sigma*(T_a_night+273.2-5)^4

c=(K_d-0.165)/0.835

K_d=1.188-2.272*K_T+9.473*K_T^2-1.865*K_T^3
                                                        +14.648*K_T^4

"K_T=0.7"

Q_dot_rad_day=A_p*epsilon_w*sigma*((T_p+273.2)^4
                                                 -(T_sky_day+273.2)^4)

Q_dot_rad_night=A_p*epsilon_w*sigma*((T_p+273.2)^4
                                                -(T_sky_night+273.2)^4)

epsilon_w=0.96

sigma=5.669*10^(-8)

Q_dot_eva_day=A_p*h_e_day*(P_v.sat-P_v.amb_day)*1.12

h_e_day=0.05058+0.0669*V_day

P_v.sat=100000*(0.004516+0.0007178*T_p
          -2.649*(10^(-6))*T_p^2+6.944*(10^(-7))*T_p^3)
```

```
P_v.amb_day=P_s_day*phi

P_s_day=100000*(0.004516+0.0007178*T_a_day-
        2.649*(10^(-6))*T_a_day^2+6.944*(10^(-7))*T_a_day^3)

"phi = 0.6"

Q_dot_eva_night=A_p*h_e_night*(P_v.sat-P_v.amb_night)

h_e_night=0.05058+0.0669*V_night

P_v.amb_night=P_s_night*phi

P_s_night=100000*(0.004516+0.0007178*T_a_night
   -2.649*(10^(-6))*T_a_night^2+6.944*(10^(-7))*T_a_night^3)

Q_dot_makeup_day=m_dot_makeup_day*c_p*(T_p-T_c)

Q_dot_makeup_night=m_dot_makeup_night*c_p*(T_p-T_c)

T_c=17.5-12.5*cos(2*PI*(Month-2)/12)

T1=(T_p+T_c)/2

"P1=1"

c_p=CP(Water,T=T1,P=P1)

rho_1=DENSITY(Water,T=T1,P=P1)


m_dot_makeup_day=m_dot_eva_day+f_makeup*rho_1*V
                                        _p/(7*3600*N_daylight)

m_dot_makeup_night=m_dot_eva_night+f_makeup*rho_1*V
                                    _p/(7*3600*(24-N_daylight))

V_p=1.5*A_p
```

```
m_dot_eva_day=Q_dot_eva_day/2454000

m_dot_eva_night=Q_dot_eva_night/2454000

Q_dot_cond_day=0.05*(Q_dot_eva_day+Q_dot_conv_day
                    +Q_do  t_rad_day+Q_dot_makeup_day)

Q_dot_cond_night=0.05*(Q_dot_eva_night+Q_dot_conv_night
                    +Q_dot_rad_night+Q_dot_makeup_night)

"S_t=10"

V=V_1/3.412

"N_daylight=10"

V_day=V+V*(8/(PI*N_daylight))*sin(PI*N_daylight/24)


V_night=V-V*(8/(PI*(24-N_daylight)))*sin(PI*(24-
_daylight)/24)

"V_1=5"

f_makeup=1

"Month=1"

Q_t_day=Q_dot_tot_day*30*N_daylight*3600
Q_t_night=Q_dot_tot_night*30*(24-N_daylight)*3600

Q_t=Q_t_day+Q_t_night

Q_t=c_p*rho_1*V_p*(T_p-T_c)

Q_req=(c_p*rho_1*V_p*(27-T_p))/(1E9)

Q_dot_tot_loss=Q_dot_tot_day+Q_dot_tot_night+Q_dot_pass
```

```
Q_dot_eva=Q_dot_eva_day+Q_dot_eva_night

Q_dot_conv=Q_dot_conv_day+Q_dot_conv_night

Q_dot_rad=Q_dot_rad_day+Q_dot_rad_night

Q_dot_makeup=Q_dot_makeup_day+Q_dot_makeup_night

Q_dot_cond=Q_dot_cond_day+Q_dot_cond_night

Z_eva=Q_dot_eva*100/Q_dot_tot_loss

Z_conv=Q_dot_conv*100/Q_dot_tot_loss

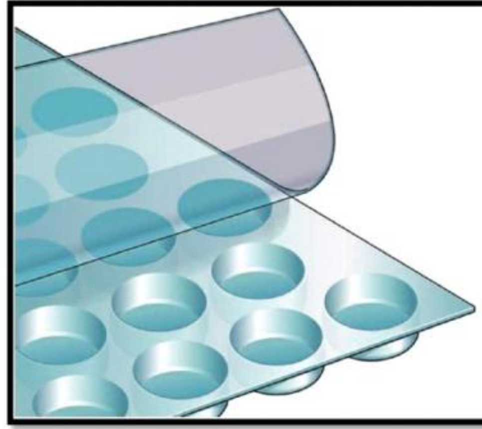
Z_rad=Q_dot_rad*100/Q_dot_tot_loss

Z_makeup=Q_dot_makeup*100/Q_dot_tot_loss

Z_cond=Q_dot_cond*100/Q_dot_tot_loss
```

3-5 النمذجة الحاسوبية لحوض سباحة مغطى:

افترضنا في نمذجتنا أنه ستتم تغطية حوض السباحة بغطاء مؤلف من طبقتين من مادة البولي إيتيلين الشكل، تحتوي الطبقة السفلية على فقاعات هوائية بقطر (12 mm) وبارتفاع (5 mm) أما سماكة هذا الغطاء فهي (0.5 mm) كما هو موضح بالشكل (3-19)، كما أن الإيصالية الحرارية لمادة البولي إيتيلين هي (0.3 W/mK)، أما الإصدارية لهذه المادة فهي (0.7)، وكذلك افترضنا أن غطاء الحوض سيتم استخدامه خلال الليل فقط[22].



الشكل (3-19) نموذج غطاء حوض السباحة المعتمد بالنمذجة

3-6 كود البرنامج المصمم لدراسة نمذجة التوازن الحراري لحوض السباحة المكشوف مع غطاء:

```
Q_dot_tot_off=Q_dot_eva_off+Q_dot_conv_off+Q_dot_rad_off
              +Q_dot_makeup_off+Q_dot_cond_off-Q_dot_pass

Q_dot_tot_on=Q_dot_cond_c_on+Q_dot_cond_w_on
                                +Q_dot_makeup_on

Q_dot_pass=A_p*(S_t-rho*S_t)

A_p=L*B

L=10

B=6

rho=0.1

"S_t=10"

"T_a_max=8"
```

```
"T_a_min=4"

DELTAT=T_a_max-T_a_min

T_a_day=T_a_max-0.2*DELTAT

T_a_night=T_a_min+0.3*DELTAT

Q_dot_conv_off=A_p*h_conv_off*(T_p-T_a_day)

h_conv_off=3.1+4.1*V_off

L_sky_off=sigma*(T_sky_off+273.2)^4

L_sky_off=(1-c)*L_clear_off+c*L_cloudy_off

L_clear_off=5.31*10^(-13)*(T_a_day+273.2)^6

L_cloudy_off=0.96*sigma*(T_a_day+273.2-5)^4

L_sky_on=sigma*(T_sky_on+273.2)^4

L_sky_on=(1-c)*L_clear_on+c*L_cloudy_on

L_clear_on=5.31*10^(-13)*(T_a_night+273.2)^6

L_cloudy_on=0.96*sigma*(T_a_night+273.2-5)^4

c=(K_d-0.165)/0.835

K_d=1.188-2.272*K_T+9.473*K_T^2-1.865*K_T^3
                                        +14.648*K_T^4

"K_T=0.7"

Q_dot_rad_off=A_p*epsilon_w*sigma*((T_p+273.2)^4
                                   -(T_sky_off+273.2)^4)
```

```
epsilon_w=0.96

sigma=5.669*10^(-8)

Q_dot_eva_off=A_p*h_e_off*(P_v.sat-P_v.amb)*1.1

P_v.sat=100000*(0.004516+0.0007178*T_p
                -2.649*(10^(6))*T_p^2+6.944*(10^(-7))*T_p^3)

h_e_off=0.05058+0.0669*V_off

P_s=100000*(0.004516+0.0007178*T_a_day
      -2.649*(10^(-6))*T_a_day^2+6.944*(10^(-7))*T_a_day^3)

P_v.amb=P_s*phi

 "phi = 0.6"

Q_dot_makeup_off=m_dot_makeup_off*c_p*(T_p-T_c)

Q_dot_makeup_on=m_dot_makeup_on*c_p*(T_p-T_c)

T_c=17.5-12.5*cos(2*PI*(Month-2)/12)

 T1=(T_p+T_c)/2

"P1=1"

c_p=CP(Water,T=T1,P=P1)

rho_1=DENSITY(Water,T=T1,P=P1)

m_dot_makeup_off=m_dot_eva+f_makeup*rho_1*V_p/(7
                                              *3600*N_daylight)

m_dot_makeup_on=f_makeup*rho_1*V_p/(7
                                   *3600*(24-N_daylight))

V_p=1.5*A_p
```

```
m_dot_eva=Q_dot_eva_off/2454000

Q_dot_cond_off=0.05*(Q_dot_eva_off+Q_dot_conv_off
                              +Q_dot_rad_off+Q_dot_makeup_off)

Q_dot_cond_w_on=0.05*(Q_dot_cond_c_on+Q_dot_makeup_on)

Q_dot_cond_c_on=Q_dot_conv_on+Q_dot_rad_on

Q_dot_conv_on=A_p*h_conv_on*(T_c_o-T_a_night)

Q_dot_rad_on=A_p**sigma*((T_c_o+273.2)^4
                                        -(T_sky_on+273.2)^4)

h_conv_on=3.1+4.1*V_on

epsilon_cov=0.7

Q_dot_cond_c_on=A_p*(T_p-T_c_o)/
    ((delta_cov_1/lambda_cov_1)+(delta_cov_2/lambda_cov_2))

lambda_cov_1=0.288

delta_cov_1=0.0005

lambda_cov_2=0.024

delta_cov_2=0.005

V=V_1/3.412

"N_daylight=10"

V_off=V+V*(8/(PI*N_daylight))*sin(PI*N_daylight/24)

V_on=V-V*(8/(PI*(24-N_daylight)))*
                                   sin(PI*(24-N_daylight)/24)
```

```
"V_1=5"

"T_a=17"

f_makeup=1

"Month=1"

Q_t_off=Q_dot_tot_off*30*N_daylight*3600

Q_t_on=Q_dot_tot_on*30*(24-N_daylight)*3600

Q_t=Q_t_off+Q_t_on

Q_t=c_p*rho_1*V_p*(T_p-T_c)

Q_req=(c_p*rho_1*V_p*(27-T_p))/(1E9)

Q_dot_tot_loss=Q_dot_tot_off+Q_dot_tot_on+ Q_dot_pass

Q_dot_conv=Q_dot_conv_off+Q_dot_conv_on

Q_dot_rad=Q_dot_rad_off+Q_dot_rad_on

Q_dot_makeup=Q_dot_makeup_off+Q_dot_makeup_on

Q_dot_cond=Q_dot_cond_off+Q_dot_cond_w_on

Z_eva=Q_dot_eva_off*100/Q_dot_tot_loss

Z_conv=Q_dot_conv*100/Q_dot_tot_loss

Z_rad=Q_dot_rad*100/Q_dot_tot_loss

Z_makeup=Q_dot_makeup*100/Q_dot_tot_loss

Z_cond=Q_dot_cond*100/Q_dot_tot_loss
```

الفصل الرابع

النتائـــج والمنـاقشـــة

4-1 نتائج التوازن الحراري لنموذج الحوض غير المغطى:

من قيم البارامترات المناخية ومعادلات التوازن الحراري لنموذج حوض السباحة غير المغطى المدخلة إلى البرنامج نستطيع حساب القيم اللازمة لإتمام عملية النمذجة للحوض، وبعض هذه القيم موضحة بالشكل (4-1):

Parametric Table

Without cover

1..12	10 V [m/s]	11 V_{day} [m/s]	12 V_{night} [m/s]	13 T_c [°C]	14 $T_{a,day}$ [°C]	15 $T_{a,night}$ [°C]
Run 1	1.08	1.351	0.8939	6.675	7.226	3.891
Run 2	1.17	1.443	0.9468	5	8.414	4.424
Run 3	1.23	1.494	0.9719	6.675	12.79	7.94
Run 4	1.23	1.468	0.9463	11.25	18.83	13.42
Run 5	1.14	1.344	0.8619	17.5	23.92	18.28
Run 6	1.08	1.265	0.8092	23.75	28.45	23.01
Run 7	1.11	1.303	0.8345	28.33	32.7	26.99
Run 8	1.08	1.285	0.8265	30	32.08	26.67
Run 9	0.94	1.13	0.7323	28.33	27.86	22.72
Run 10	0.97	1.184	0.7741	23.75	21.96	17.45
Run 11	0.91	1.129	0.7455	17.5	14.78	10.77
Run 12	1.08	1.355	0.8988	11.25	9.202	5.757

الشكل (4-1) جدول حساب البارامترات المناخية اللازمة للنموذج

يوضح الشكل (4-2) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية بالتوصيل والحمل من حوض السباحة المدروس.

Parametric Table

Without cover

1..12	16 $\dot{Q}_{condday}$ [W]	17 $\dot{Q}_{condnight}$ [W]	18 $\dot{Q}_{cond}$ [W]	19 $\dot{Q}_{convday}$ [W]	20 $\dot{Q}_{convnight}$ [W]	21 $\dot{Q}_{conv}$ [W]
Run 1	156.9	325.8	482.7	-655.5	840.4	184.9
Run 2	301.4	472.6	774	-1111	811.3	-299.7
Run 3	479.2	695.3	1174	-1524	891.3	-632.9
Run 4	668.7	943.1	1612	-1678	979.2	-698.6
Run 5	862.4	1124	1987	-1325	1222	-103.9
Run 6	1072	1231	2303	-1169	1190	21.02
Run 7	1059	1133	2191	-2169	557.2	-1611
Run 8	911.7	958.5	1870	-1942	600.5	-1341
Run 9	704.3	781.5	1486	-1109	1007	-101.2
Run 10	392.6	534	926.6	-812	1057	245.2
Run 11	172.1	369.1	541.2	-344.5	1209	864.3
Run 12	86.31	290.8	377.1	-306.3	1162	856

الشكل (4-2) قيم ضياع الطاقة بالتوصيل والحمل من حوض غير مغطى

يوضح الشكل (4-3) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع والتبخير من حوض السباحة المدروس.

Parametric Table

Without cover

1..12	22 $\dot{Q}_{radday}$ [W]	23 $\dot{Q}_{radnight}$ [W]	24 $\dot{Q}_{rad}$ [W]	25 $\dot{Q}_{evaday}$ [W]	26 $\dot{Q}_{evanight}$ [W]	27 $\dot{Q}_{eva}$ [W]
Run 1	3091	4019	7110	1773	2423	4195
Run 2	3066	4205	7271	2196	2872	5068
Run 3	3001	4489	7490	3856	4343	8199
Run 4	2853	4679	7531	7003	6969	13972
Run 5	2973	5075	8048	11424	10382	21806
Run 6	2948	5220	8169	17173	14457	31629
Run 7	1866	4422	6288	21375	17528	38903
Run 8	2055	4435	6490	20157	16724	36881
Run 9	2935	5044	7980	15758	13302	29060
Run 10	3223	4840	8063	10111	8940	19051
Run 11	3450	4713	8163	5429	5233	10663
Run 12	3157	4134	7291	2930	3303	6233

الشكل (4-3) قيم ضياع الطاقة بالإشعاع والتبخير من حوض غير مغطى

يوضح الشكل (4-4) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الناتجة عن إضافة ماء التعويض للحوض، وقيم ضياع الطاقة الكلي من حوض السباحة المدروس.

Parametric Table

Without cover

1..12	28: $\dot{Q}_{makeupday}$ [W]	29: $\dot{Q}_{makeupnight}$ [W]	30: $\dot{Q}_{makeup}$ [W]	31: $\dot{Q}_{pass}$ [W]	32: $\dot{Q}_{totloss}$ [W]	33: T_p [°C]
Run 1	-1071	-766.2	-1837	13122	10136	6.0
Run 2	1876	1564	3440	17820	16253	6.4
Run 3	4250	4183	8433	23922	24663	10.0
Run 4	5197	6235	11431	29322	33848	15.8
Run 5	4177	5811	9987	34020	41724	21.4
Run 6	2487	3748	6235	38880	48356	26.1
Run 7	98.77	143.4	242.2	38340	46013	28.4
Run 8	-2036	-2590	-4626	35262	39274	28.2
Run 9	-3499	-3723	-7222	30942	31202	25.5
Run 10	-4671	-4156	-8827	21924	19459	20.3
Run 11	-5094	-3772	-8866	15282	11365	14.0
Run 12	-4054	-2785	-6839	11664	7918	8.6

الشكل (4-4) قيم ضياع الطاقة لماء التعويض والضياع الكلي من حوض غير مغطى

يوضح الشكل (4-5) مقدار الطاقة الشهرية المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة المدروس إلى درجة الحرارة المريحة للسباحة (27 °C)، ويوضح الشكل أيضاً نسب الضياع الشهرية المختلفة من حوض السباحة المدروس.

Parametric Table

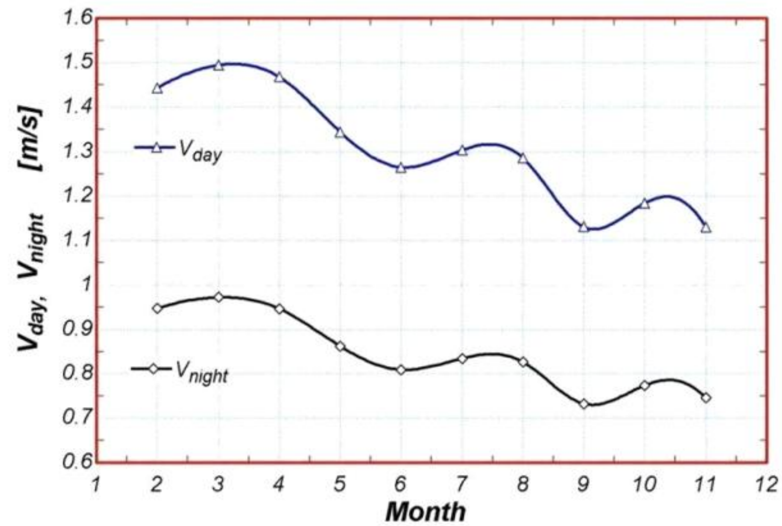
Without cover

1..12	36 Q_{req} [GJ]	37 Z_{cond} [-]	38 Z_{conv} [-]	39 Z_{eva} [-]	40 Z_{makeup} [-]	41 Z_{rad} [-]
Run 1	7.944	4.762	1.824	41.39	-18.12	70.15
Run 2	7.797	4.762	-1.844	31.18	21.17	44.73
Run 3	6.397	4.762	-2.566	33.24	34.19	30.37
Run 4	4.23	4.762	-2.064	41.28	33.77	22.25
Run 5	2.123	4.762	-0.2489	52.26	23.94	19.29
Run 6	0.3366	4.762	0.04348	65.41	12.89	16.89
Run 7	-0.5314	4.762	-3.502	84.55	0.5264	13.67
Run 8	-0.4531	4.762	-3.415	93.91	-11.78	16.53
Run 9	0.5721	4.762	-0.3245	93.13	-23.14	25.57
Run 10	2.534	4.762	1.26	97.9	-45.36	41.44
Run 11	4.874	4.762	7.605	93.82	-78.01	71.82
Run 12	6.929	4.762	10.81	78.72	-86.37	92.08

الشكل(4-5) الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين الحوض إلى ($27\ ^oC$) ونسب ضياع الطاقة

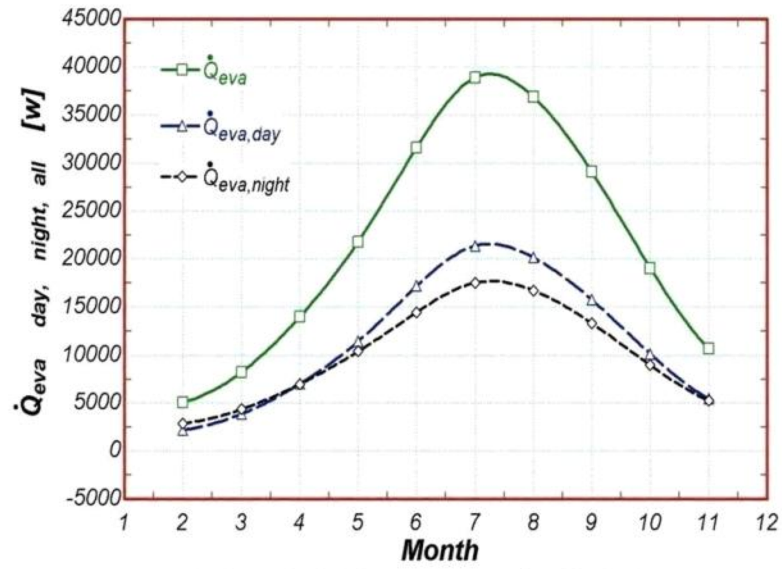
2-4 المخططات البيانية لنتائج النمذجة للحوض غير المغطى:

يوضح الشكل (4-6) قيم سرعة الهواء الوسطية الشهرية خلال النهار وخلال الليل، من المخطط يتضح أن سرعة الهواء خلال النهار أعلى منها في الليل.



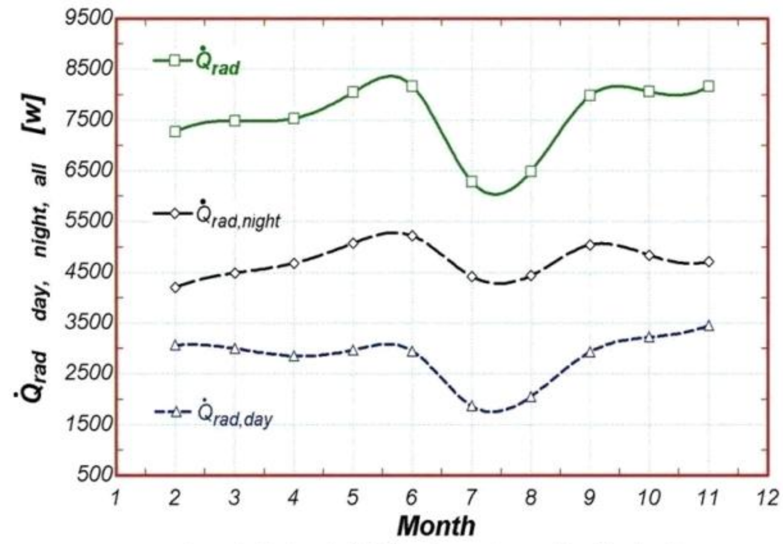
الشكل (4-6) تغيرات سرعة الهواء في الليل والنهار

يوضح الشكل (4–7) مخطط تغيرات القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالتبخير، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الثاني من شهر تموز، كما نجد من خلال الجداول السابقة أن هذه القيم هي كبيرة مقارنة مع قيم الضياعات الأخرى.



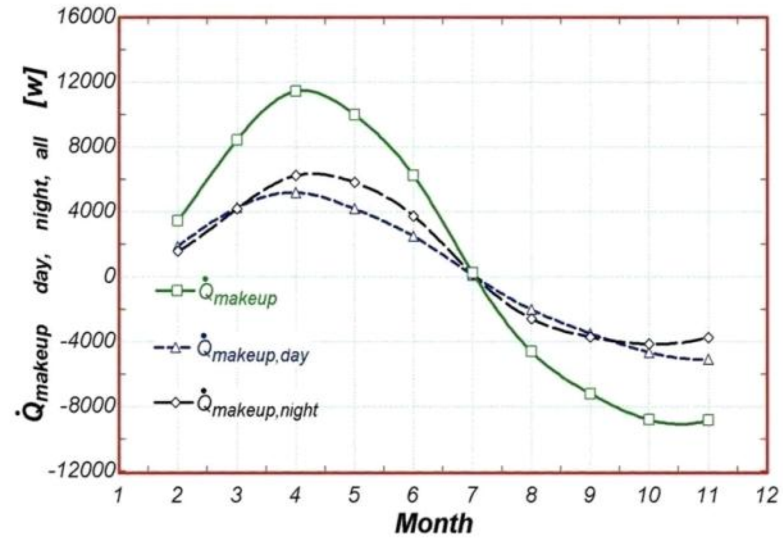
الشكل (4–7) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير

يوضح الشكل (4–8) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالإشعاع، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الأول من شهر حزيران ويبلغ قيمته الأصغرية عند أواخر شهر تموز.



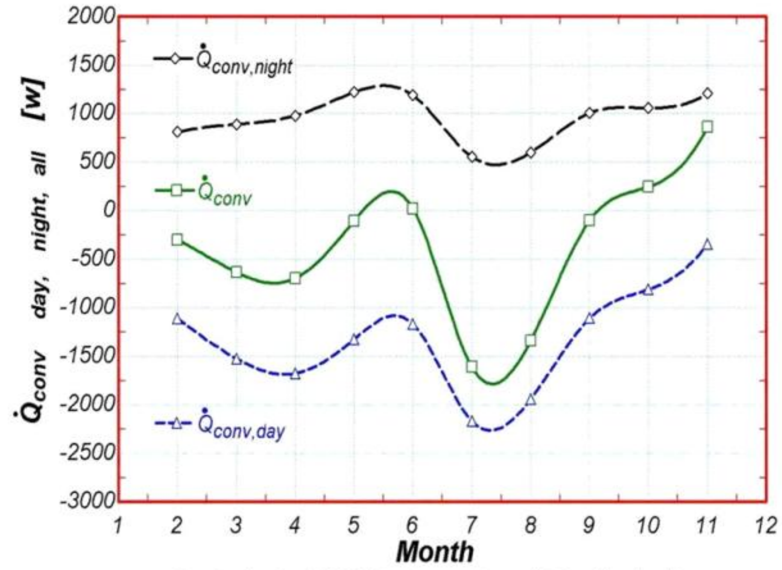
الشكل (4–8) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع

يوضح الشكل (4–9) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض الناتجة عن إضافة ماء التعويض للحوض، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً عند منتصف شهر نيسان ويبلغ قيمته الأصغرية عند نهاية شهر تشرين الأول وبداية شهر تشرين الثاني.



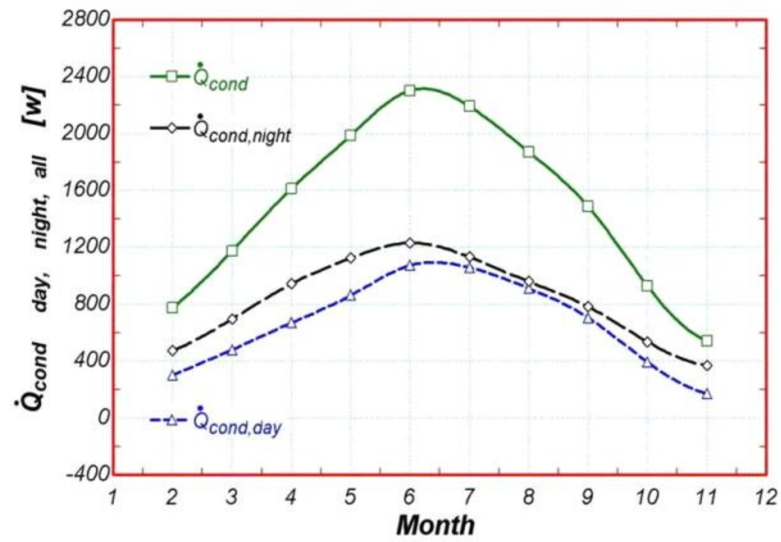
الشكل (4–9) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية لمياه التعويض

يوضح الشكل (4−10) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالحمل، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الأول من شهر حزيران ويبلغ قيمته الأصغرية عند أواخر شهر تموز.



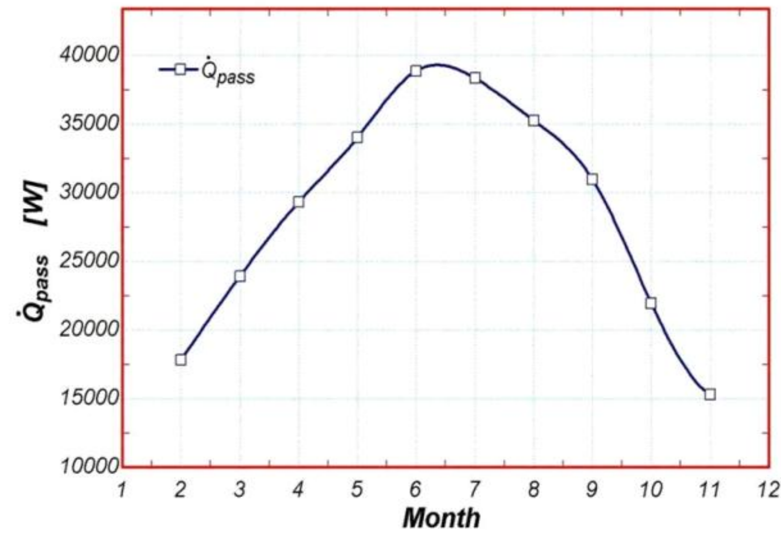
الشكل (4−10) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالحمل

يوضح الشكل (4−11) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية من الحوض بالتوصيل، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً عند النصف الثاني شهر حزيران، كما نجد أن قيم هذا الضياع هي صغيرة نسبياً.



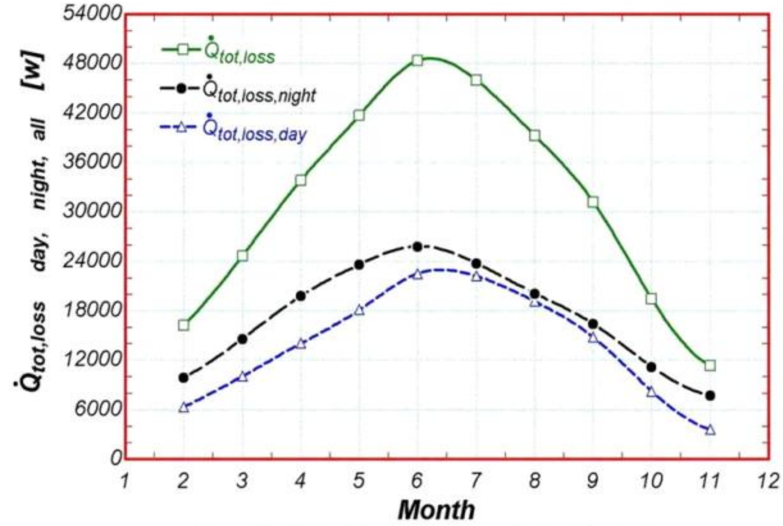
الشكل (4-11) تغيرات ضياع الطاقة الحرارية بالتوصيل

يوضح الشكل (4-12) التغيرات الشهرية في قيم الكسب الشمسي السلبي لحوض السباحة المدروس، ونجد أن أكبر قيم الكسب الشمسي كانت خلال موسم السباحة، وقد كانت أعظم هذه القيم عند النصف الثاني من شهر حزيران.



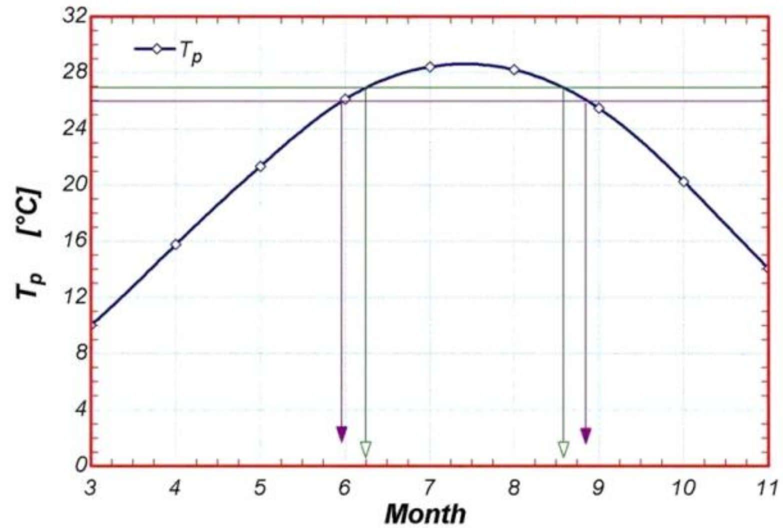
الشكل (4-12) تغيرات معدل الكسب الشمسي السلبي

يوضح الشكل (4-13) القيم (النهارية، الليلية، والكلية) لضياع الطاقة الحرارية الشهرية الكلية من الحوض، ونلاحظ أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الأول من شهر حزيران.



الشكل (4-13) تغيرات ضياع الطاقة الكلية من الحوض

يوضح الشكل (4-14) مخطط التغيرات الشهرية لدرجة حرارة الحوض الشهرية.



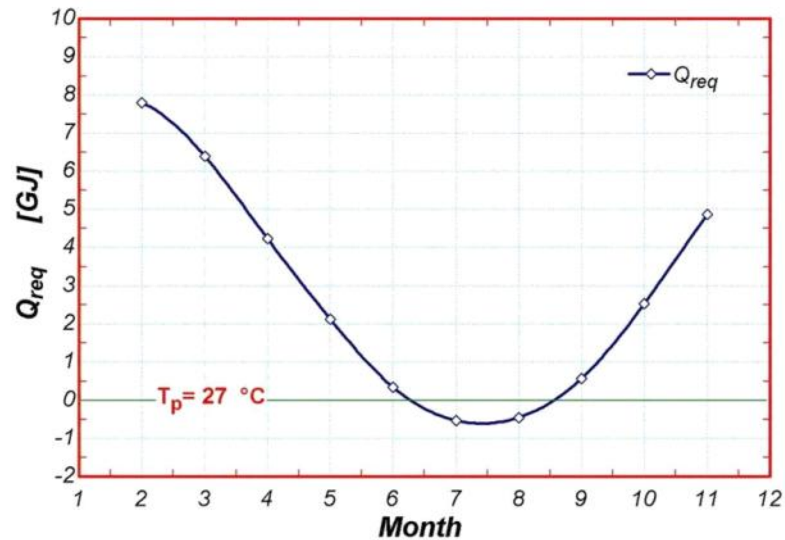
الشكل (4-14) تغيرات درجة الحرارة لحوض مكشوف

نلاحظ أن درجة حرارة الحوض المدروس تصل إلى القيمة الأعظمية (29 °C) عند نهاية شهر تموز، وبما أن درجة حرارة ماء الحوض الموصى بها للسباحة هي (26-27 °C) فإننا نلاحظ من هذا الشكل ما يلي:

⇐ عندما تكـــون درجة حرارة الســـباحة المعتمدة هـــي (27 °C) فـــإن موســـم السباحة المريح يبدأ من بداية الأسبوع الرابع من شهر حزيران وحتى منتصف الأسبوع الأول من شهر أيلول.

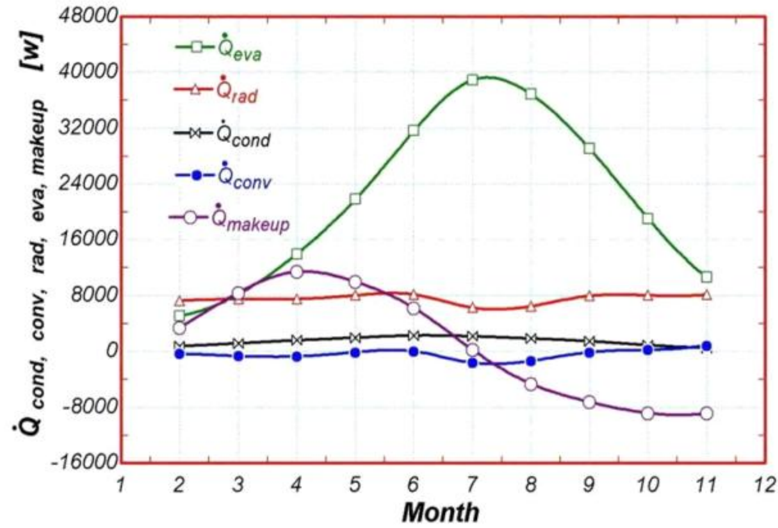
⇐ عندما تكون درجة حرارة السباحة المعتمدة هي (26 °C) فإن فترة موسم السباحة تزداد، حيث يبدأ هذا الموسم من بداية الثلث الثاني من شهر حزيران ويمتد إلى نهاية الثلث الأول من شهر أيلول.

يوضح الشكل (4-15) مخطط تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة غير مغطى إلى درجة حرارة (27 °C)، ونلاحظ أنه وخلال موسم السباحة المحدد سابقاً عند هذه الدرجة فإننا لا نحتاج إلى التسخين المساعد.



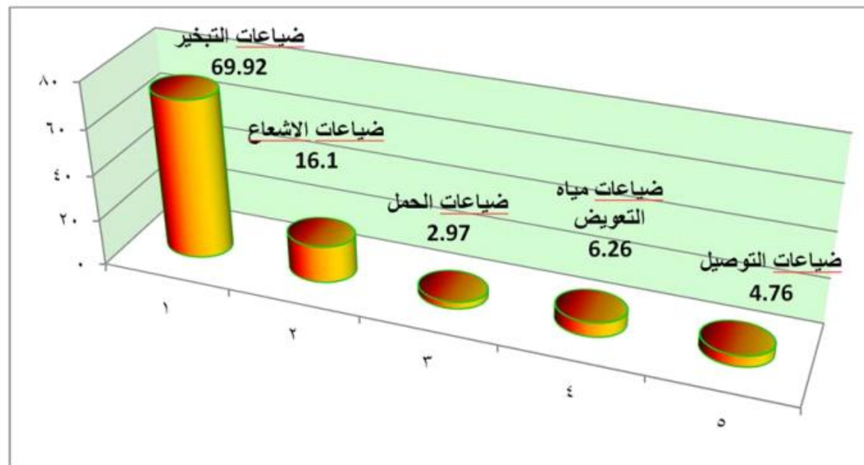
الشكل (4-15) تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة

يبين الشكل (4-16-a) مخطط تغيرات كافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المدروس غير المغطى، ونلاحظ من هذا الشكل أن ضياعات الطاقة الحرارية بالتبخير هي أكبر بكثير من مختلف الضياعات الأخرى.



الشكل (4-16-a) مقارنة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المكشوف

كما يوضح الشكل (4-16-b) النسب المئوية الوسطية لكافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المدروس غير المغطى.



الشكل (4-16-b) النسب المئوية الوسطية لكافة الضياعات من الحوض

ونلاحظ من الشكل السابق أن ضياع الطاقة من حوض السباحة المكشوف بالتبخير تمثل في النموذج المدروس حسب شروط الحوض والمناخ المحيط نسبة مقدارها (70%) من الضياعات الكلية، ويتأثر هذا الرقم بشكل واضح بعدة عوامل وهي:

فرق درجة الحرارة بين الحوض والوسط المحيط، سرعة الرياح، رطوبة الهواء.

3-4 نتائج التوازن الحراري لنموذج الحوض المغطى:

من قيم البارامترات المناخية ومعادلات التوازن الحراري لنموذج حوض السباحة المغطى المدخلة إلى البرنامج نستطيع حساب القيم اللازمة لإتمام عملية النمذجة لهذا الحوض، وهذه القيم موضحة بالشكل (4-17):

Parametric Table

With cover

1..12	10 V [m/s]	11 V_{off} [m/s]	12 V_{on} [m/s]	13 T_c [°C]	14 $T_{a,day}$ [°C]	15 $T_{a,night}$ [°C]	16 $T_{c,o}$ [°C]
Run 1	1.08	1.35	0.894	6.67	7.23	3.89	2.0
Run 2	1.17	1.44	0.947	5.00	8.41	4.42	2.3
Run 3	1.23	1.49	0.972	6.67	12.79	7.94	5.8
Run 4	1.23	1.47	0.946	11.25	18.83	13.42	11.3
Run 5	1.14	1.34	0.862	17.50	23.92	18.28	16.4
Run 6	1.08	1.26	0.809	23.75	28.45	23.01	21.1
Run 7	1.11	1.30	0.834	28.33	32.70	26.99	24.9
Run 8	1.08	1.29	0.826	30.00	32.08	26.67	24.7
Run 9	0.94	1.13	0.732	28.33	27.86	22.72	20.9
Run 10	0.97	1.18	0.774	23.75	21.96	17.45	15.8
Run 11	0.91	1.13	0.746	17.50	14.78	10.77	9.3
Run 12	1.08	1.36	0.899	11.25	9.20	5.76	4.4

الشكل (4-17) جدول حساب البارامترات المناخية اللازمة للنموذج

يوضح الشكل (4-18) قيم درجة حرارة حوض السباحة المدروس، قيم الكسب الشمسي السلبي، قيم ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير، والقيم النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والكلية لضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع من حوض السباحة المغطى.

Parametric Table

With cover

1..12	17 T_p [°C]	18 $\dot{Q}_{pass}$ [W]	19 $\dot{Q}_{condc,on}$ [W]	20 $\dot{Q}_{evaoff}$ [W]	21 $\dot{Q}_{radoff}$ [W]	22 $\dot{Q}_{radon}$ [W]	23 $\dot{Q}_{rad}$ [W]
Run 1	7.8	13122	1667	3106	3630	2432	6062
Run 2	8.2	17820	1683	3580	3601	2564	6165
Run 3	12.1	23922	1796	5635	3611	2712	6324
Run 4	18.0	29322	1894	9531	3557	2765	6322
Run 5	23.8	34020	2124	15015	3805	2881	6686
Run 6	28.8	38880	2199	22057	3911	2931	6842
Run 7	31.3	38340	1833	27375	2921	2653	5574
Run 8	31.3	35262	1899	26596	3193	2666	5860
Run 9	28.9	30942	2269	21495	4145	2920	7065
Run 10	23.4	21924	2187	14249	4282	2823	7105
Run 11	16.9	15282	2169	7994	4335	2725	7061
Run 12	10.9	11664	1863	4706	3828	2432	6260

الشكل (4-18) قيم: درجة حرارة الحوض، الكسب الشمسي السلبي

ضياع الطاقة بالتوصيل عبر الغطاء، بالتبخير، وبالإشعاع لحوض سباحة مغطى

يوضح الشكل (4-19) القيم النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والقيم الليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والقيم الكلية لضياع الطاقة الحرارية بالحمل ولمياه التعويض من حوض السباحة المغطى.

Parametric Table

With cover

1..12	24 $\dot{Q}_{convoff}$ [W]	25 $\dot{Q}_{convon}$ [W]	26 $\dot{Q}_{conv}$ [W]	27 $\dot{Q}_{makeupoff}$ [W]	28 $\dot{Q}_{makeupon}$ [W]	29 $\dot{Q}_{makeup}$ [W]
Run 1	318.4	-765.5	-447.1	1752	1247	2998
Run 2	-107.5	-880.7	-988.3	4438	3677	8115
Run 3	-398.3	-916.6	-1314.9	6834	6670	13504
Run 4	-468.2	-871.3	-1339.5	7771	9208	16979
Run 5	-52.93	-757.3	-810.2	6886	9414	16300
Run 6	180	-731.1	-551.1	5393	7941	13334
Run 7	-699	-819.3	-1518.4	3253	4590	7842
Run 8	-369.2	-767.8	-1137.0	1538	1899	3437
Run 9	476.8	-650.7	-173.9	700.3	726.5	1427
Run 10	694.6	-636.7	57.9	-455.1	-397.6	-852.7
Run 11	962.7	-555.9	406.8	-945.1	-692.1	-1637
Run 12	871	-569.6	301.4	-571.2	-389.4	-960.6

الشكل (4-19) قيم ضياع الطاقة بالحمل ومياه التعويض لحوض سباحة مغطى

يوضح الشكل (4−20) القيم النهارية والليلية والكلية لضياع الطاقة الحراري بالتوصيل والضياع الإجمالي من حوض السباحة المغطى.

Parametric Table

With cover

1..12	30 $\dot{Q}_{condoff}$ [W]	31 $\dot{Q}_{condw,on}$ [W]	32 $\dot{Q}_{cond}$ [W]	33 $\dot{Q}_{totloss,off}$ [W]	34 $\dot{Q}_{totloss,on}$ [W]	35 $\dot{Q}_{totloss}$ [W]
Run 1	440.3	145.7	586	9247	3059	12306
Run 2	575.6	268	843.6	12087	5628	17715
Run 3	784.1	423.3	1207	16466	8889	25355
Run 4	1020	555.1	1575	21411	11657	33067
Run 5	1283	576.9	1860	26936	12115	39050
Run 6	1577	507	2084	33118	10647	43765
Run 7	1642	321.1	1964	34492	6744	41236
Run 8	1548	189.9	1738	32505	3987	36493
Run 9	1341	149.8	1491	28158	3145	31304
Run 10	938.5	89.46	1028	19708	1879	21587
Run 11	617.4	73.87	691.2	12965	1551	14516
Run 12	441.6	73.66	515.3	9275	1547	10821

الشكل (4−20) قيم ضياع الطاقة بالتوصيل والضياع الإجمالي لحوض سباحة مغطى

يوضح الشكل (4−21) قيم الطاقة الحرارية اللازمة للتسخين المساعد للوصول إلى درجة حرارة مريحة للسباحة عند ($27\ ^{o}C$) وكذلك النسب المئوية لكافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المغطى.

Parametric Table

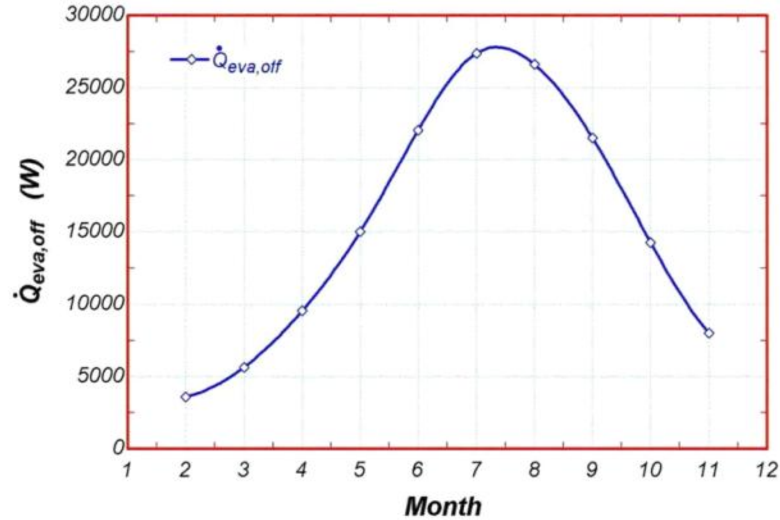
With cover

1..12	36 Q_{req} [GJ]	37 Z_{cond}	38 Z_{conv}	39 Z_{eva}	40 Z_{makeup}	41 Z_{rad}
Run 1	7.230	4.8	-3.6	25.2	24.4	49.3
Run 2	7.091	4.8	-5.6	20.2	45.8	34.8
Run 3	5.627	4.8	-5.2	22.2	53.3	24.9
Run 4	3.397	4.8	-4.1	28.8	51.3	19.1
Run 5	1.197	4.8	-2.1	38.4	41.7	17.1
Run 6	-0.681	4.8	-1.3	50.4	30.5	15.6
Run 7	-1.619	4.8	-3.7	66.4	19.0	13.5
Run 8	-1.627	4.8	-3.1	72.9	9.4	16.1
Run 9	-0.709	4.8	-0.6	68.7	4.6	22.6
Run 10	1.348	4.8	0.3	66.0	-4.0	32.9
Run 11	3.813	4.8	2.8	55.1	-11.3	48.6
Run 12	6.072	4.8	2.8	43.5	-8.9	57.8

الشكل (4-21) الطاقة اللازمة للتسخين المساعد والنسب المئوية للضياعات لحوض مغطى

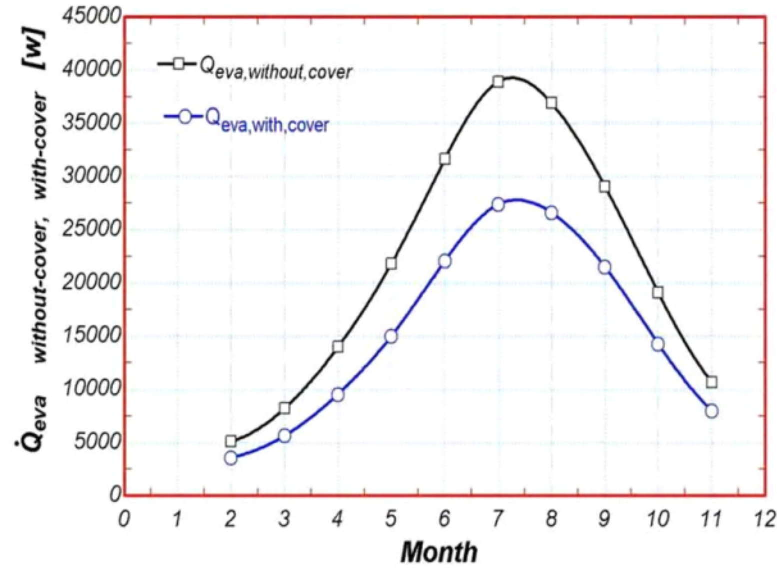
4-4 المخططات البيانية لنتائج النمذجة لحوض السباحة المغطى:

يوضح الشكل (4-22) ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير، وهذا الضياع يكون نهارياً فقط (عندما يكون الغطاء مرفوعاً)، ونلاحظ من هذا المخطط أن هذا الضياع يكون أعظمياً خلال النصف الثاني من شهر تموز.



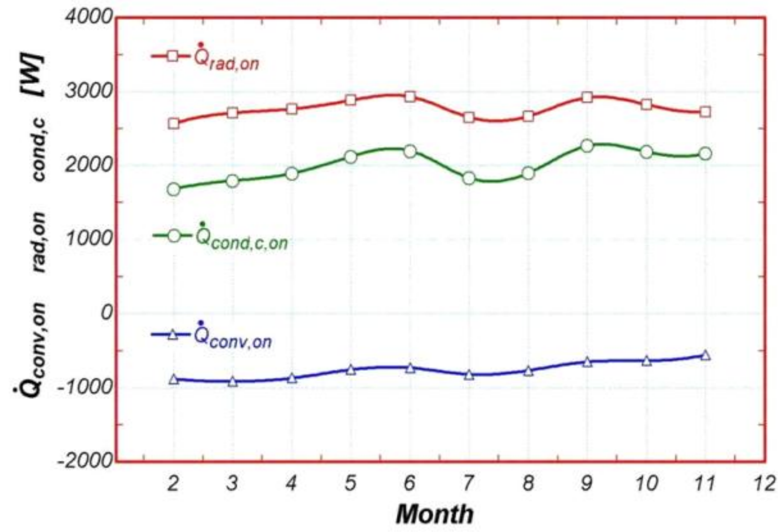
الشكل (4-22) ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4-23) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالتبخير لحوض سباحة (مكشوف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة لضياع الطاقة بالتبخير لحوض سباحة مكشوف هي (38.9 kw)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (27.4 kw).



الشكل (4-23) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية بالتبخير لحوض (مكشوف، مغطى)

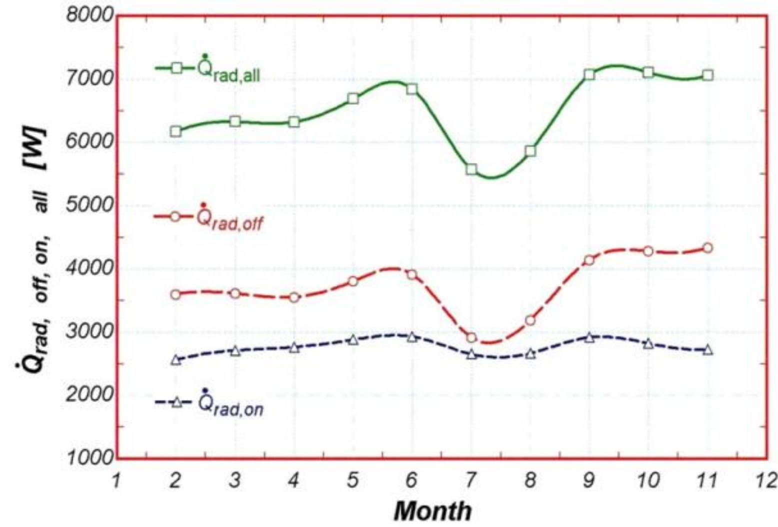
يوضح الشكل (4-24) مخطط تغيرات ضياع الطاقة الحرارية من ماء الحوض بالتوصيل عبر غطاء الحوض ليلاً، ومن سطح هذا الغطاء يتم طرح هذه الطاقة الحرارية إلى الوسط المحيط عن طريق الإشعاع والحمل.



الشكل (4–24) ضياع الطاقة بالتوصيل عبر غطاء الحوض

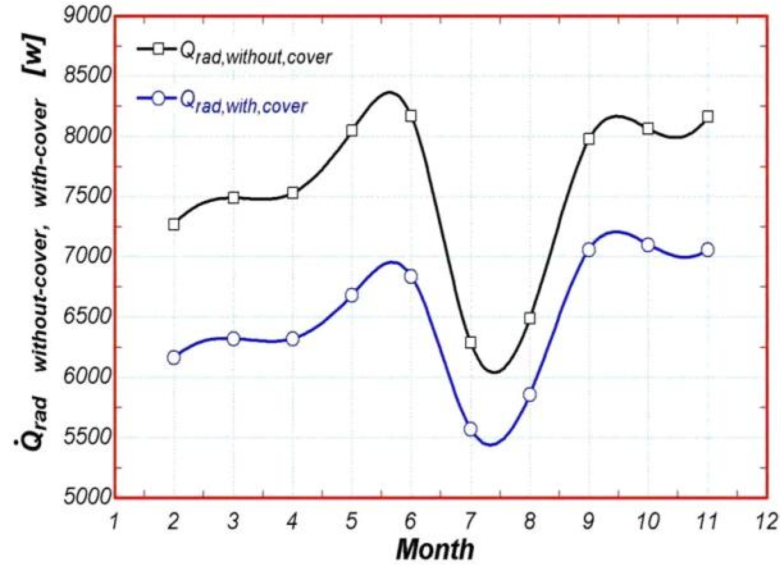
وبالإشعاع والحمل من سطح الغطاء إلى الوسط المحيط

يوضح الشكل (4–25) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع من حوض السباحة، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



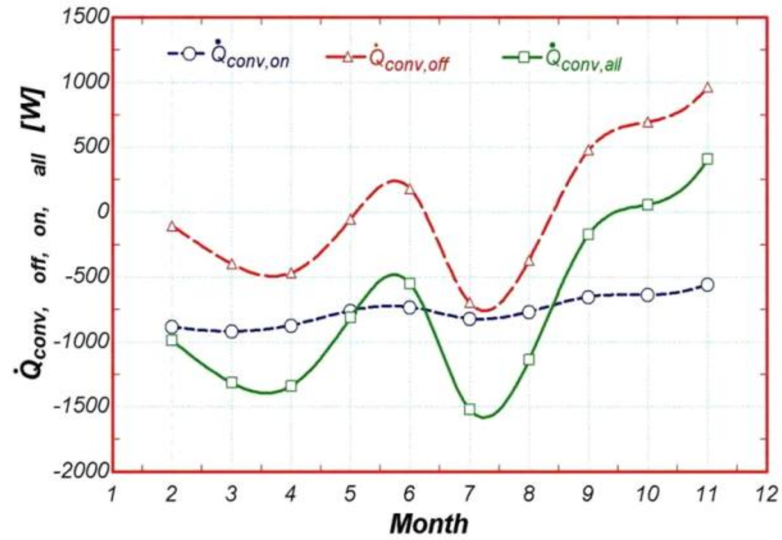
الشكل (4–25) تغيرات ضياع الطاقة بالإشعاع من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4−26) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع لحوض سباحة (مكشوف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة لضياع الطاقة بالإشعاع لحوض سباحة مكشوف هي (8.4 kw)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (7.25 kw).



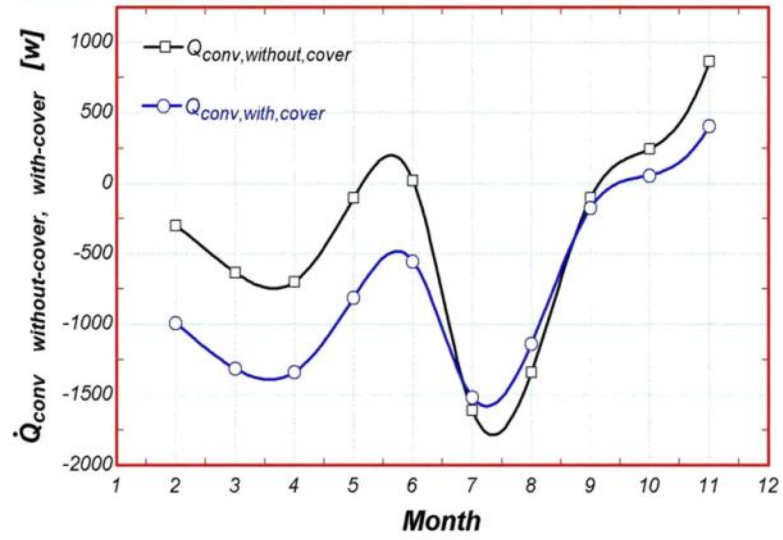
الشكل (4−26) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية بالإشعاع لحوض (مكشوف، مغطى)

يوضح الشكل (4−27) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالحمل من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



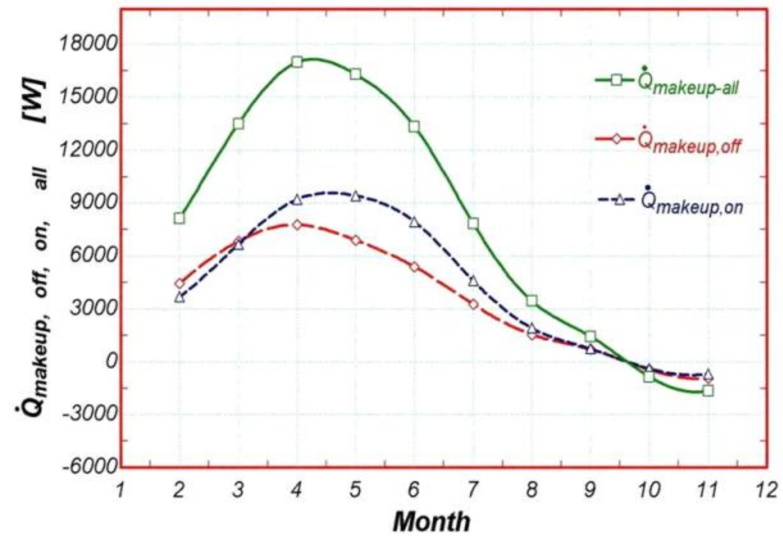
الشكل (4–27) تغيرات ضياع الطاقة بالحمل من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4–28) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالحمل لحوض سباحة (مكشوف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة خلال موسم السباحة لضياع الطاقة بالحمل لحوض سباحة مكشوف هي (250 w)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (-500 w).



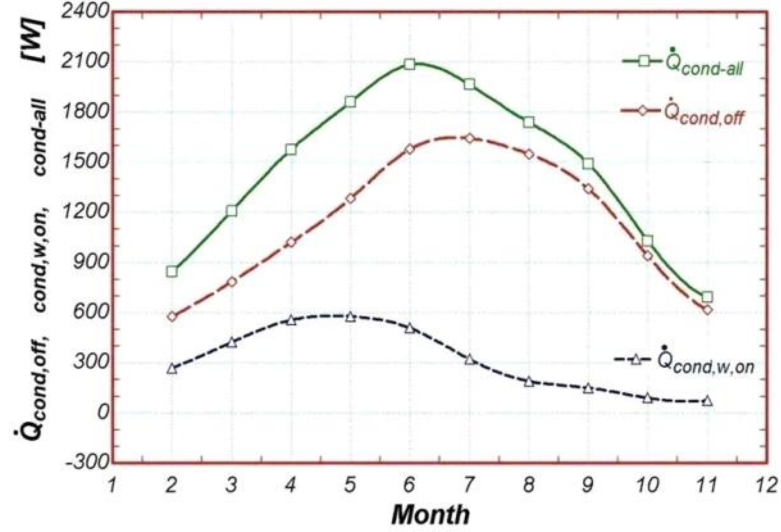
الشكل (4−28) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية بالحمل لحوض (مكشوف، مغطى)

يوضح الشكل (4−29) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية لمياه التعويض من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



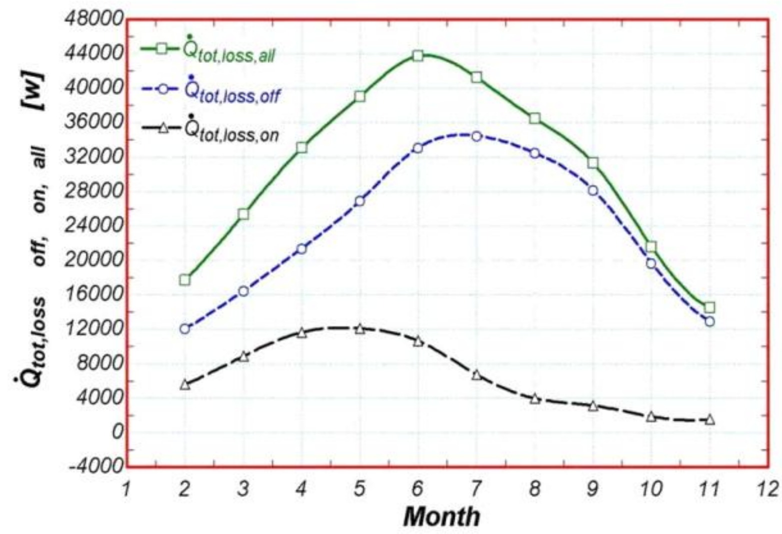
الشكل (4−29) تغيرات ضياع الطاقة لمياه التعويض من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4−30) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية بالتوصيل من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



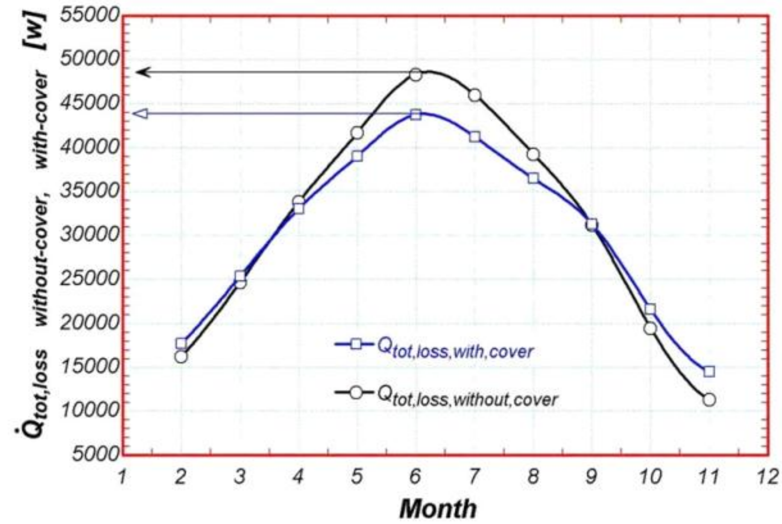
الشكل (4−30) تغيرات ضياع الطاقة بالتوصيل من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4−31) مخطط التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية الإجمالي من حوض السباحة المغطى، التغيرات النهارية (عندما يكون الغطاء مرفوعاً) والليلية (عندما يكون الغطاء موضوعاً) والتغيرات الكلية.



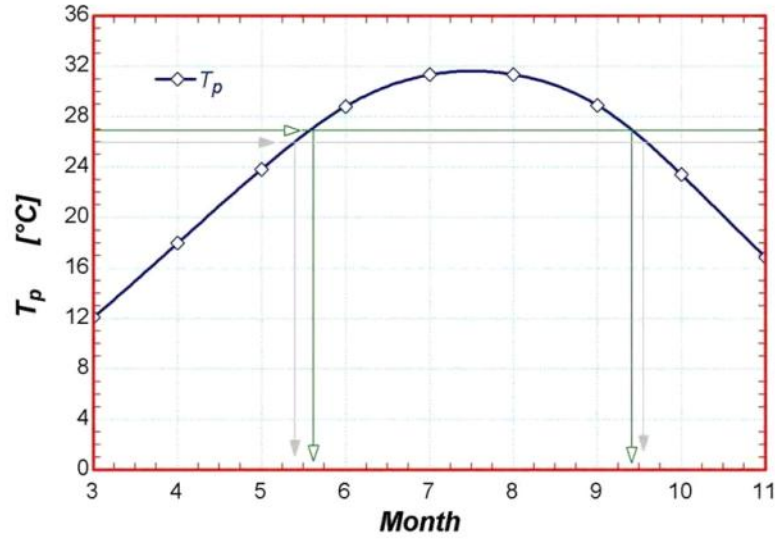
الشكل (4–31) تغيرات ضياع الطاقة الإجمالي من حوض السباحة المغطى

يوضح الشكل (4–32) مقارنة بين التغيرات الشهرية لضياع الطاقة الحرارية الإجمالي لحوض سباحة (مكشوف، مغطى)، حيث نلاحظ أن أعظم قيمة لضياع الطاقة الإجمالي لحوض سباحة مكشوف هي (48.5 kw)، أما في حالة تغطية الحوض فنلاحظ انخفاض قيمة هذا الضياع إلى (43.8 kw).



الشكل (4–32) مقارنة بين ضياع الطاقة الحرارية الإجمالي لحوض (مكشوف، مغطى)

يوضح الشكل (4−33) مخطط التغيرات الشهرية لدرجة الحرارة في حوض السباحة المغطى ليلاً.



الشكل (4−33) التغيرات الشهرية لدرجة حرارة الحوض المغطى

نلاحظ أن درجة حرارة الحوض المغطى المدروس تصل إلى القيمة الأعظمية (31.8 °C) عند نهاية شهر تموز، وبما أن درجة حرارة ماء الحوض الموصى بها للسباحة هي (26-27 °C) فإننا نلاحظ من هذا الشكل ما يلي:

⇐ عندما تكـــون درجة حرارة الســـباحة المعتمدة هـــي (27 °C) فـــإن موســـم السباحة المريح يبدأ من منتصف الأسبوع الأول من شهر حزيران وحتى منتصف الأسبوع الرابع من شهر أيلول.

⇐ عندما تكون درجة حرارة السباحة المعتمدة هي (26 °C) فإن فترة موسم السباحة تزداد، حيث يبدأ هذا الموسم من منتصف الأسبوع الرابع من شهر أيار ويمتد إلى اليوم الثاني من شهر تشرين الأول.

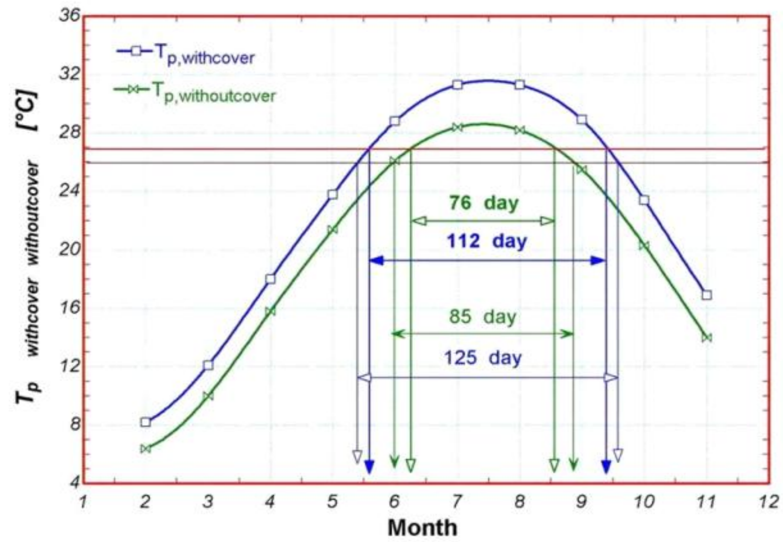
يوضح الشكل (4–34) مقارنة بين موسم السباحة لحوض سباحة (مكشوف، مغطى)، حيث نلاحظ أن مدة موسم السباحة عند اعتماد درجة الحرارة (27 °C) لـــ:

■ حوض مكشوف هي: / 76/ يوماً. ■ حوض مغطـــى هي: / 112/ يوماً.

أما مدة موسم السباحة عند اعتماد درجة الحرارة (26 °C) لـــ:

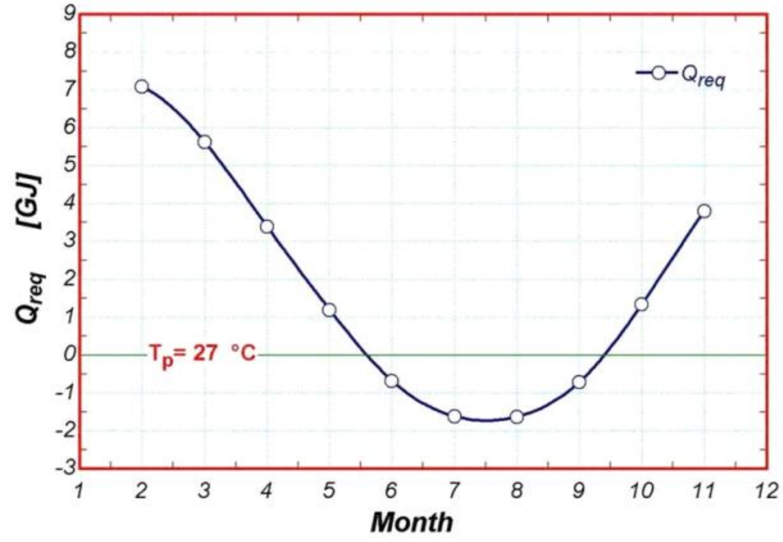
■ حوض مكشوف هي: / 85 / يوماً. ■ حوض مغطـــى هي: / 125/ يوماً.

أي أن تغطية حوض السباحة ليلاً سوف يؤدي إلى زيادة فترة موسم السباحة بنسبة مقدارها (47 %).



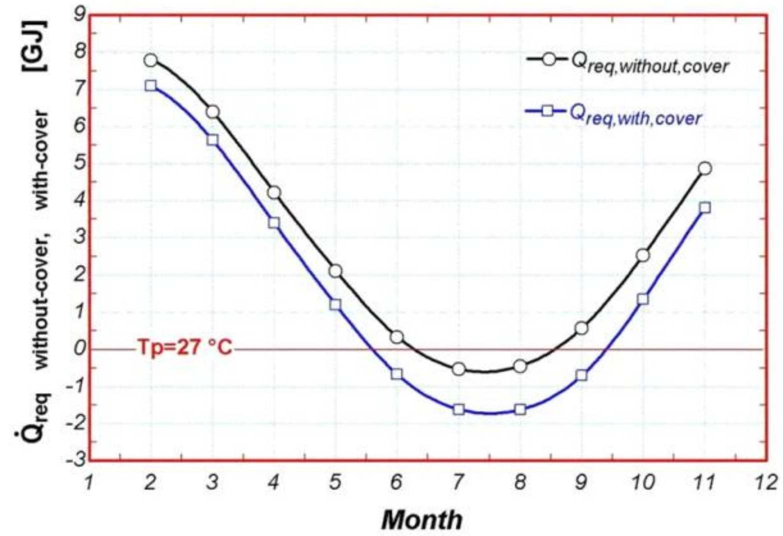
الشكل (4–34) مقارنة موسم السباحة في حوض سباحة (مكشوف، مغطى)

يوضح الشكل (4–35) مخطط تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة المغطى إلى درجة حرارة (27 °C)، ونلاحظ أنه وخلال موسم السباحة المحدد سابقاً عند هذه الدرجة فإننا لا نحتاج إلى التسخين المساعد.

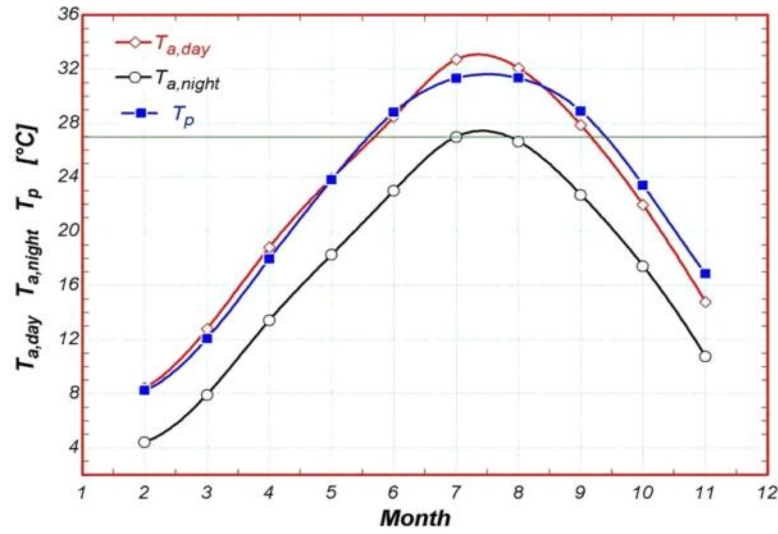


الشكل (4−35) الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين الحوض المغطى إلى (27 ^{o}C)

يوضح الشكل (4−36) مقارنة تغيرات الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة (مكشوف، مغطى) إلى درجة حرارة (27 ^{o}C)، وهنا نلاحظ أن تغطية حوض السباحة ليلاً سوف يؤدي إلى توفير في الطاقة بمقدار (27 %).

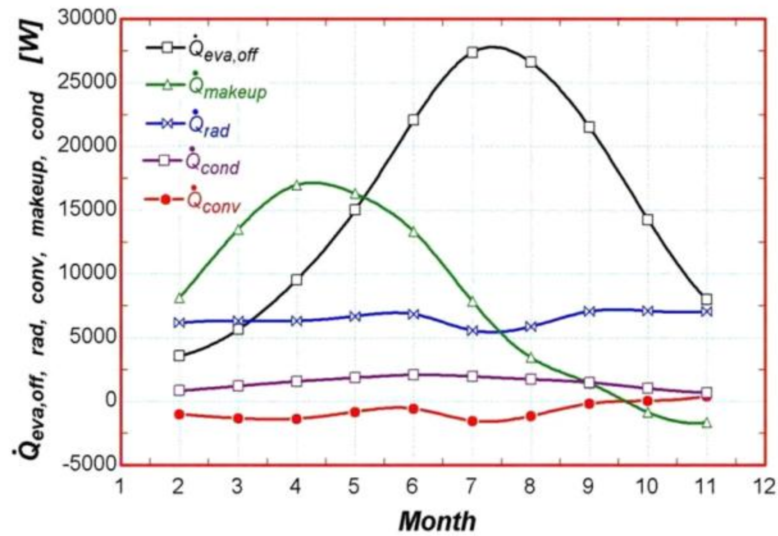


الشكل (4−36) مقارنة الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين حوض السباحة (مكشوف، مغطى)



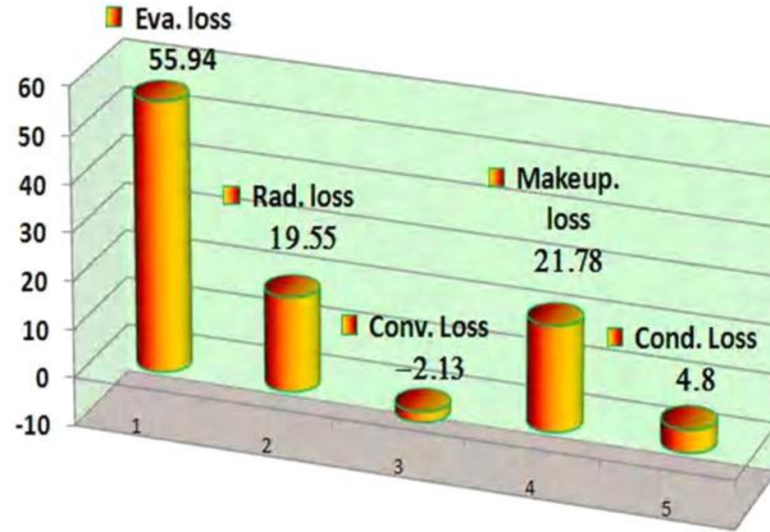
الشكل (4−37) مقارنة تغيرات درجة حرارة الحوض مع الهواء نهاراً وليلاً

يبين الشكل (4−38) مخطط تغيرات كافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المغطى المدروس، ونلاحظ من هذا المخطط أن ضياعات الطاقة الحرارية بالتبخير تبقى هي الأكبر من مختلف الضياعات الأخرى.



الشكل(4−38) مقارنة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المغطى

كما يوضح الشكل (4−39) النسب المئوية لكافة ضياعات الطاقة الحرارية من حوض السباحة المغطى المدروس.

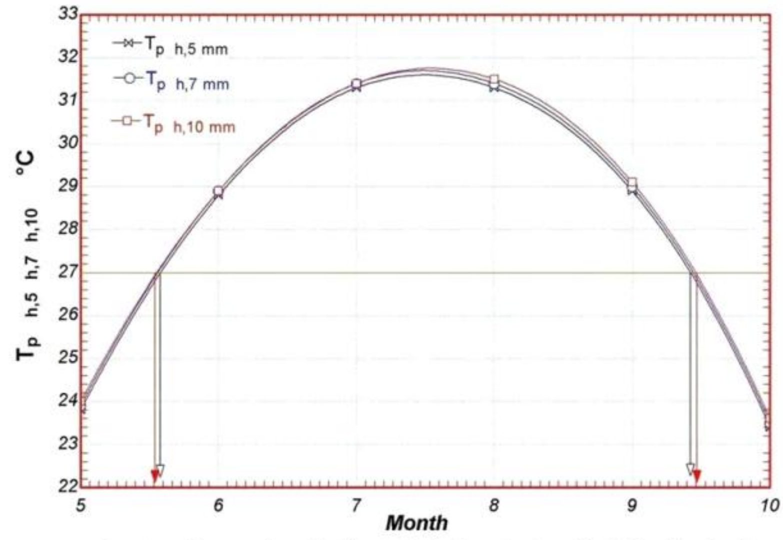


الشكل (4−39) النسب المئوية الوسطية لكافة الضياعات من الحوض

نلاحظ من الشكل السابق أن ضياع الطاقة من حوض السباحة المكشوف بالتبخير تمثل في النموذج المدروس حسب شروط الحوض والمناخ المحيط نسبة مقدارها (56%) من الضياعات الكلية.

5−4 تأثير ارتفاع فقاعة الهواء في غطاء حوض السباحة:

بدراسة تأثير ارتفاع فقاعة الهواء لغطاء الحوض (h) على تغيرات درجة الحرارة الشهرية لحوض السباحة المغطى، فقد تم اعتماد ثلاث قيم لهذا الإرتفاع وهي: $(h = 5, 7, 10 \quad mm)$ وبنتيجة النمذجة كان لدينا المخطط المبين بالشكل (4−40) حيث نلاحظ في هذا المخطط أن موسم السباحة يبدأ قبل يومان، وينتهي بعد ثلاثة أيام، وبالتالي فإن مضاعفة ارتفاع فقاعة الهواء لغطاء الحوض سيؤدي إلى زيادة طفيفة في موسم السباحة مدتها خمسة أيام فقط.



الشكل (4–40) تأثير ارتفاع فقاعة الهواء للغطاء على درجة حرارة الحوض

4–6 تأثير إصدارية غطاء حوض السباحة:

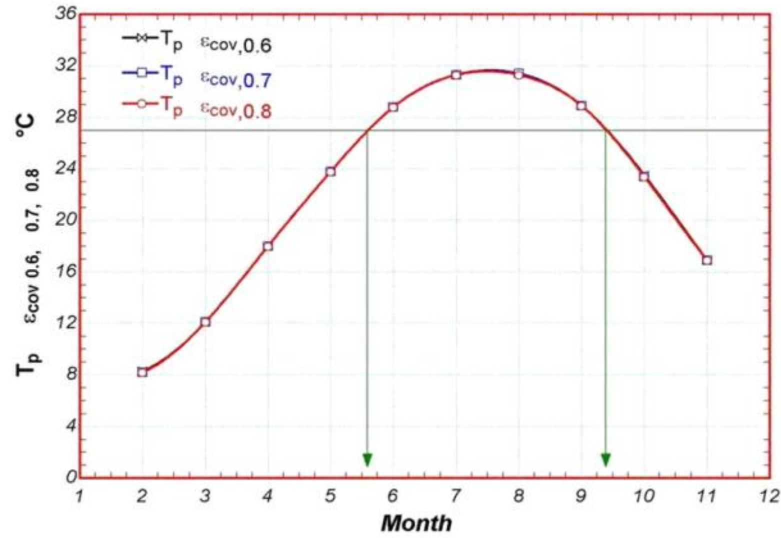
يبين الشكل (4–41) ألوان مختلفة لأغطية المسابح ذات إصدارية (ε_{cov}) مختلفة.



الشكل (4–41) أغطية لأحواض المسابح ذات قيم إصدارية مختلفة

وبدراسة تأثير إصدارية غطاء الحوض (ε_{cov}) على تغيرات درجة الحرارة الشهرية لحوض السباحة المغطى، تم اعتماد ثلاث قيم لهذه الإصدارية وهي:

($\varepsilon_{cov} = 0.6, 0.7, 0.8$)، وبنتيجة النمذجة كان لدينا المخطط المبين بالشكل (4-42) حيث نلاحظ في هذا المخطط أن المنحنيات الثلاث متطابقة تماماً، أي أنه لا تأثير لتغير إصدارية الغطاء على درجة حرارة الحوض المغطى، وبالتالي لا تأثير لهذه الإصدارية على تغير فترة موسم حوض السباحة المغطى.

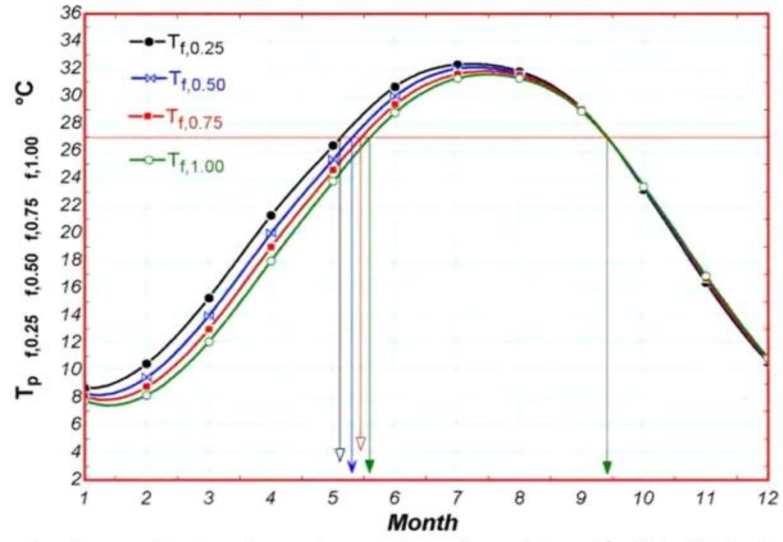


الشكل (4-42) تأثير إصدارية غطاء الحوض على درجة حرارة الحوض

4-7 تأثير معامل نسبة ماء التجديد (f_{makeup}) على درجة حرارة الحوض:

بدراسة تأثير معامل نسبة ماء التجديد (f_{makeup}) المدخلة إلى حوض السباحة أسبوعياً، على تغيرات درجة الحرارة الشهرية لحوض السباحة المغطى، فقد تم اعتماد أربع قيم لهذا المعامل وهي:

($f_{makeup} = 0.25, 0.50, 0.75, 1.00$) وبنتيجة النمذجة كان لدينا المخطط المبين بالشكل (4-43) حيث نلاحظ في هذا المخطط أنه بتخفيض قيمة المعامل f_{makeup} من /1/ إلى /0.25/ فإن موسم السباحة يبدأ قبل أسبوعين.



الشكل (4-43) تأثير معامل نسبة ماء التجديد على درجة حرارة الحوض المغطى

الفصل الخامس

الاستنتاجات والتوصيات

لقد تم في هذا البحث نمذجة التوازن الحراري لحوض سباحة مكشوف في مدينة حلب باستخدام برنامج النمذجة الحرارية (EES)، حيث تم من خلال هذا البرنامج حساب مقدار الكسب الشمسي وحساب كافة الضياعات الحرارية للحوض وكذلك تم تحديد فترة موسم السباحة، وذلك بالاعتماد على البيانات المناخية لمدينة حلب.

تبين من نتائج هذه الدراسة أن مدة موسم السباحة لحوض مكشوف عند درجة حرارة مريحة للسباحة ($27\ ^{o}C$) هي /76/ يوماً، حيث سيبدأ موسم السباحة من بداية الأسبوع الرابع من شهر حزيران وحتى منتصف الأسبوع الأول من شهر أيلول، أما إذا كانت درجة الحرارة المريحة للسباحة المعتمدة هي ($26\ ^{o}C$) فإن مدة موسم السباحة هي /85/ يوماً، وهنا سيبدأ موسم السباحة من بداية الثلث الثاني من حزيران ولينتهي عند الثلث الأول من شهر أيلول.

تم في هذا البحث نمذجة التوازن الحراري لحوض سباحة في حالة تغطية سطحه بغطاء يتألف من رقائق بلاستيكية يحتوي على فقاعات هوائية، الأمر الذي سيؤدي إلى تخفيض الضياعات الحرارية من الحوض.

وقد تبين من نتائج دراسة حوض سباحة مغطى أن مدة موسم السباحة عند درجة حرارة مريحة للسباحة ($27\ ^{o}C$) هي /112/ يوماً، حيث سيبدأ موسم السباحة من منتصف الأسبوع الأول من حزيران إلى منتصف الأسبوع الرابع من أيلول، أما إذا كانت درجة الحرارة المريحة للسباحة المعتمدة هي ($26\ ^{o}C$) فإن مدة موسم السباحة هي /125/ يوماً، وهنا سيبدأ موسم السباحة من منتصف الأسبوع الرابع من شهر أيار ولينتهي في اليوم الثاني من تشرين الأول.

من مقارنة نتائج النمذجة بين حوض سباحة مكشوف وحوض سباحة مغطى نجد أن تغطية حوض السباحة سوف تؤدي إلى زيادة موسم السباحة بنسبة مقدارها (47 %).

كما أن تغطية حوض السباحة سوف تؤدي إلى انخفاض في مقدار الطاقة المساعدة اللازمة لتسخين ماء الحوض إلى درجة حرارة مريحة للسباحة، فعند درجة حرارة للحوض ($27\ ^{o}C$) فإن نسبة التخفيض التي حصلنا عليها من هذه الدراسة هي (27 %).

تمت أيضاً دراسة تأثير تغير معامل نسبة ماء التجديد المدخلة إلى الحوض (f_{makeup}) على طول فترة موسم السباحة، وقد تبين من نتائج هذه الدراسة أن تخفيض قيمة هذا المعامل من /1/ إلى /0.25/ سوف يؤدي إلى بداية لفترة موسم السباحة قبل أسبوعين.

كما تمت دراسة تأثير مواصفات غطاء الحوض على فترة موسم السباحة، فتبين أن مضاعفة ارتفاع فقاعة الهواء بالغطاء سيؤدي إلى زيادة طفيفة لموسم السباحة، حيث سيبدأ موسم السباحة قبل يومان وسينتهي بعد ثلاثة أيام من الموسم المحدد عند درجة حرارة للحوض ($27\ ^{o}C$).

أما تأثير إصدارية غطاء الحوض (ε_{cov}) على طول فترة موسم السباحة، فقد بينت الدراسة التي تمت على عدة قيم لهذه الإصدارية، أنه لا تأثير لتغير إصدارية الغطاء المستخدم على طول فترة موسم السباحة.

- وبالتالي ومن نتائج هذه الدراسة، فإننا نوصي باستخدام الفلترة بالمسابح، وذلك لأن التقليل من نسبة ماء التجديد سيؤدي إلى زيادة موسم السباحة.

  كذلك وبما أنه يوجد تأثير واضح للرياح على ضياع الطاقة من الحوض، فإننا نوصي بدراسة وايجاد الوسائل المناسبة الكفيلة بتخفيض هذا الضياع.

  وأخيراً وبسبب الكلفة العالية للطاقة التقليدية المتبعة بالتسخين المساعد للوصول إلى درجة حرارة مريحة للسباحة، فإننا نوصي بدراسة تأمين الطاقة المساعدة لتسخين الأحواض باستخدام الطاقات البديلة.

المراجع

1- CZARNECKI J.T., 1978- Swimming Pool Heating by Solar Energy. CSIRO Division of Mechanical Engineering Technical Report TR 19.

2- CZARNECKI J.T., 1981- Selected Aspects of Solar Swimming Pool Heating, Division of Mechanical Engineering. Technical Report. No. TR29.

3- ASHRAE., 2001- Handbook - Fundamentals, SI Edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, chapter 6, USA.

4- SMITH C.C.; LOF G.; JONES R., 1994- *Measurement and Analysis of Evaporation from an Inactive Outdoor Swimming Pool*, *Solar Energy*, 53, 1, 3-7.

5- HAHNE E.; KÜBLER R., 1994- Monitoring and Simulation of the Thermal Performance of Solar Heated Outdoor Swimming Pools, *Solar Energy* 53, l, pp. 9-19.

6- KALOGIROU S., 2009- Solar energy engineering: processes and systems. Elsevier Inc, 1st Ed, London, 756.

7- SWINBANK W.C., 1963- Long-Wave Radiation from Clear Skies, *Quarterly J. Royal Meteorological* Soc., 89, 339-348.

8-حمود بسام، 2004- نظام الطاقات المتجددة. المركز العربي للتعريب والتأليف والنشر بدمشق، الجمهورية العربية السورية، 314.

9- DUFFIE J.A.; BECKMAN W.A., 1991- *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd Ed, John Wiley & Sons.

10- المصري رضوان عبد الغني، 1996- مبادئ الطاقة الشمسية الحرارية وتطبيقاتها. الطبعة الأولى، المؤلف، حلب، سوريا، 189.

11-ISO/TR 12596:1995 (E), 1995, Solar Heating—Swimming Pool Heating Systems—Dimensions, Design and Installation Guidelines.

12-SZEICZ G.; MCMONAGLE R.C., 1983- The Heat Balance Of Urban Swimming Pools. *Solar Energy*, 30(3), 247-259.

13-http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=fa961@yahoo.com

14-CHARBONNEAU P.; KNAPP B., 2005- Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Commercial and Professional. S. A. Klein,7.358nd Ed, 303.

15-D. Coughi, P. Hesse and T. Schiller, May/June 1996, "Swimming Pools Soak Up the Sun," Home Energy, 13(3), pp. 37-42.

16-R. Messenger and S. Hayes; November 3, 1986- "Running Pump Less Often is More Efficient," Pool & Spa News 25(21): 142, 144, 186.

17-K. R. Cooley, 1970- Energy Relations in the design of floating covers for evaporation reduction. Water Resources Research 6,717-727 .

18-J. L. A. Francey, P. Golding and R. Clarke, 1981, Low-cost solar heating of community pools using pool covers. Solar Energy 25(5), 407-416.

19-E. H. Hobbs, 1961- Reduction of Evaporation by Monomolecular Films. Proc. Hyd. Symp. 2, 233-240. National Research Council of Canada.

20- نحاس أحمد، 1987- انتقال الحرارة. الطبعة الأولى، منشورات جامعة حلب، سوريا.

21-Cover material that maximises solar gain to heat your pool www.plastipack.co.uk

22-Technical Specification www.plastipack.co.uk

الملحق

جدول رقم /1/ الوسطي الشهري: للإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي، دليل وضوح السماء، وعدد ساعات النهار لمدينة حلب



NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface At Indicated GMT Times (kW/m²)

Lat 36.12 Lon 37.1	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Average@00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Average@03	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Average@06	0.12	0.19	0.32	0.43	0.53	0.60	0.56	0.50	0.43	0.30	0.19	0.12
Average@09	0.35	0.45	0.56	0.67	0.74	0.87	0.86	0.81	0.74	0.56	0.41	0.32
Average@12	0.26	0.35	0.45	0.53	0.62	0.69	0.71	0.65	0.55	0.36	0.25	0.21
Average@15	n/a	n/a	n/a	0.12	0.17	0.23	0.24	0.16	n/a	n/a	n/a	n/a
Average@18	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Average@21	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Monthly Averaged Insolation Clearness Index (0 to 1.0)

Lat 36.12 Lon 37.1	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average K	0.47	0.50	0.53	0.55	0.59	0.66	0.67	0.65	0.64	0.56	0.51	0.45	0.56
Minimum K	0.37	0.40	0.38	0.51	0.47	0.59	0.63	0.61	0.59	0.49	0.42	0.32	0.48
Maximum K	0.60	0.60	0.65	0.61	0.65	0.71	0.70	0.70	0.71	0.63	0.59	0.58	0.64

Monthly Averaged Daylight Hours (hours)

Lat 36.12 Lon 37.1	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Average	10.0	10.9	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.2	9.76



جدول رقم /2/

الوسطي الشهري لأهم البارامترات المناخية لمدينة حلب

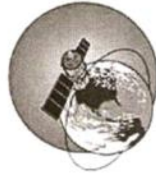


NASA Surface meteorology and Solar Energy



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

Month	**Air temperature**	**Relative humidity**	**Daily solar radiation - horizontal**	**Atmospheric pressure**	**Wind speed**	**Earth temperature**	**Heating degree-days**	**Cooling degree-days**
	°C	%	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	5.2	71.0%	2.29	95.3	3.7	5.4	392	0
February	6.2	64.3%	3.16	95.1	4.0	7.0	337	3
March	10.1	56.7%	4.41	94.9	4.2	12.2	251	42
April	15.8	50.1%	5.51	94.8	4.2	19.4	92	170
May	20.8	44.8%	6.58	94.7	3.9	25.6	18	326
June	25.3	38.4%	7.68	94.4	3.7	31.0	0	454
July	29.3	31.6%	7.59	94.1	3.8	36.1	0	596
August	28.9	34.1%	6.73	94.3	3.7	35.3	0	582
September	25.1	37.3%	5.63	94.7	3.2	29.9	0	444
October	19.5	46.1%	3.90	95.1	3.3	22.0	23	289
November	12.3	57.1%	2.67	95.3	3.1	13.1	168	93
December	6.9	68.7%	2.03	95.4	3.5	7.0	338	8
Annual	17.1	50.0%	4.85	94.8	3.7	20.3	1619	3007
Measured at (m)					10.0	0.0		



جدول رقم /3/

درجة حرارة الهواء الأعظمية لمدينة حلب



NASA Surface meteorology and Solar Energy: Interannual Variability



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

Maximum Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth (°C)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1983	5.65	9.23	14.37	19.26	25.05	30.71	33.60	33.05	30.78	24.00	18.09	13.26	21.49
1984	11.13	13.35	15.87	19.57	27.52	31.60	34.77	32.38	32.13	26.21	13.95	8.95	22.31
1985	9.96	7.61	14.12	21.67	27.84	31.46	33.79	36.96	30.98	22.27	18.28	10.28	22.18
1986	9.17	9.66	15.19	22.50	22.37	29.71	35.66	35.91	31.81	23.32	12.54	9.66	21.53
1987	9.84	11.95	10.45	18.89	26.33	30.51	35.23	33.98	30.90	21.31	15.18	9.45	21.21
1988	7.09	8.88	11.71	19.24	26.11	29.45	34.73	34.21	29.84	21.64	13.51	10.49	20.61
1989	5.39	10.22	15.92	26.52	27.22	30.62	35.35	33.71	29.02	21.34	16.76	10.49	21.93
1990	7.04	9.82	16.03	21.37	27.20	30.78	35.50	33.78	30.45	25.35	20.32	13.58	22.67
1991	9.24	10.34	16.24	22.01	25.44	31.79	34.15	34.39	30.03	23.66	16.36	7.93	21.86
1992	5.13	5.44	12.84	21.08	24.80	28.32	32.39	34.23	29.22	25.58	16.38	6.32	20.19
1993	6.81	7.14	13.89	20.18	22.36	30.31	35.12	34.15	30.59	26.31	13.28	12.65	21.15
1994	10.64	10.27	15.62	24.00	27.39	31.13	34.74	34.28	33.52	27.52	15.44	8.01	22.78
1995	10.01	12.72	16.83	20.55	27.68	30.63	32.83	34.73	29.32	23.63	15.07	11.71	22.20
1996	8.86	12.36	13.46	18.47	28.76	31.99	37.39	35.08	28.88	22.37	19.22	12.78	22.50
1997	9.85	8.99	11.50	18.65	28.09	28.86	34.06	32.06	28.01	23.00	17.38	11.49	21.07
1998	8.11	9.80	13.89	22.13	26.39	31.85	36.71	36.89	29.21	25.46	19.58	12.13	22.75
1999	9.73	11.17	14.89	20.21	27.49	27.51	34.01	32.21	27.00	20.88	15.48	13.28	21.22
2000	6.66	8.51	13.60	20.86	24.21	32.12	37.99	34.49	28.96	22.19	18.53	10.76	21.61
2001	10.72	12.22	20.11	22.93	25.16	32.59	36.40	34.35	30.38	24.46	16.52	11.09	23.14
2002	8.21	13.57	17.52	19.52	25.12	31.60	34.48	33.16	29.42	26.15	18.50	8.02	22.15
2003	10.85	8.11	11.84	20.59	28.39	31.48	34.79	35.80	28.90	23.58	15.68	9.67	21.72
2004	8.06	9.66	18.33	21.15	25.18	30.38	35.24	33.20	30.36	25.20	15.87	8.59	21.81
2005	8.64	9.28	14.64	21.33	25.89	29.07	35.56	34.61	28.43	21.16	15.16	12.77	21.46
1983 - 2005	8.56	10.01	14.73	20.99	26.17	30.63	34.98	34.24	29.92	23.76	16.39	10.58	21.75
Min Dif	-3.43	-4.57	-4.28	-2.51	-3.81	-3.12	-2.59	-2.19	-2.92	-2.88	-3.86	-4.26	-3.37
Max Dif	2.58	3.56	5.38	5.54	2.59	1.96	3.01	2.72	3.60	3.75	3.93	3.00	3.47



جدول رقم /4/

درجة حرارة الهواء الأصغرية لمدينة حلب



NASA Surface meteorology and Solar Energy: Interannual Variability



Latitude 36.12 / Longitude 37.1 was chosen.

Minimum Air Temperature At 10 m Above The Surface Of The Earth (°C)

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1983	-0.26	1.74	4.96	9.80	15.27	20.25	23.44	23.20	19.94	14.14	11.05	5.08	12.44
1984	4.01	3.97	7.33	9.96	15.83	19.85	23.33	21.31	20.36	14.96	9.01	2.44	12.72
1985	4.38	0.65	3.54	10.65	16.34	20.28	21.95	24.90	20.26	12.70	10.61	3.25	12.52
1986	2.93	3.27	5.23	11.70	12.49	18.57	23.85	24.66	21.65	15.15	5.92	2.66	12.39
1987	2.99	4.23	2.51	8.29	14.50	19.61	23.87	23.75	19.69	13.74	7.02	4.60	12.11
1988	1.93	2.94	4.53	9.28	15.06	19.05	24.01	23.84	19.68	14.36	6.24	4.48	12.15
1989	-1.42	0.77	7.12	14.00	15.72	19.57	24.02	23.72	20.11	13.88	9.47	3.50	12.60
1990	-0.01	1.77	5.22	10.30	15.00	20.03	24.60	22.29	19.84	15.53	10.57	4.86	12.56
1991	1.07	1.33	6.29	10.40	14.57	20.51	22.76	23.33	19.56	15.25	8.51	1.77	12.17
1992	-1.74	-1.52	2.13	8.99	13.37	18.15	21.41	22.98	18.65	14.88	7.99	1.09	10.57
1993	0.20	-0.28	3.88	9.72	12.65	19.68	23.41	23.48	19.58	16.02	5.41	5.05	11.64
1994	3.75	2.94	6.53	12.17	15.86	19.80	23.25	22.55	21.94	17.65	8.74	1.32	13.10
1995	3.27	3.59	5.97	9.39	15.66	20.49	22.55	23.51	19.32	13.91	5.69	2.87	12.24
1996	2.81	3.34	5.74	9.05	16.85	20.54	25.12	23.96	18.95	13.61	10.15	6.59	13.09
1997	2.51	0.19	2.22	8.28	16.50	18.99	22.76	21.96	17.58	14.65	8.92	5.15	11.72
1998	1.28	1.52	4.67	10.95	15.47	21.08	25.00	25.44	19.89	15.81	11.51	5.78	13.27
1999	3.40	3.43	5.92	9.84	15.27	18.56	23.79	22.82	18.53	14.42	7.86	4.69	12.44
2000	1.19	0.78	2.63	10.56	13.58	19.89	24.95	24.11	19.23	13.85	9.15	4.18	12.04
2001	2.91	3.70	8.52	11.73	14.24	20.94	24.73	24.00	20.28	14.72	7.07	3.73	13.10
2002	-0.37	3.12	6.56	9.73	14.45	20.44	23.10	22.80	19.53	15.91	9.15	1.97	12.25
2003	3.97	1.34	3.04	9.71	16.05	20.11	23.33	23.67	18.92	15.36	7.70	3.54	12.30
2004	3.13	1.79	6.32	8.90	13.73	19.30	22.95	22.56	19.14	15.90	8.16	1.20	11.96
2005	1.51	2.07	4.76	10.79	14.35	18.62	23.85	23.94	19.08	12.63	6.40	4.96	11.97
1983-2005	1.89	2.03	5.03	10.18	14.90	19.75	23.57	23.42	19.64	14.74	8.36	3.69	12.27
Min Dif	-3.63	-3.55	-2.90	-1.90	-2.42	-1.61	-2.16	-2.11	-2.05	-2.11	-2.95	-2.60	-2.50
Max Dif	2.49	2.20	3.49	3.81	1.95	1.33	1.55	2.01	2.30	2.91	3.15	2.91	2.51



جدول رقم /5/

المواصفات الفنية لغطاء حوض السباحة

Polyethylene Film	Dual-Extruded
U.V. Protection	0.9% Additive
Colouring	1% Actual
Thermal Properties	Vicat Softening Point (1kg) 93°C Cold Crack – 25°C
Bubble Diameter	12mm
Bubble Height	4.9mm
No. of bubbles per m^2	5751
500 microns thickness	Bubble Film = 350um +/- 10%
	Back Film = 150um +/- 10%
Weight per m^2	460gms +/- 10%
Overall Bubbles Width	2000mm / 2500mm +/- 1%
Welding Edges	30mm +/- 10%
Overall Width	2060mm/2560mm +/- 1%
Roll Diameter	0.80 metres +/- 1%
Roll Length	102 metres +/- 2%
Est.Quantity for 120m^3 truck	14535/15912 sq.m.
Est. Quantity Containers	4500/11500 sq.m.
Packaging	Packaged in Polyethylene bags Core Diameters Internal 76mm/External 80mm
Identification	Batch Identification by Q.A. slip and label showing Length, Grade and Weight

جدول رقم /6/

الإيصالية الحرارية لبعض المواد

Thermal Conductivity - *k* - *W/(m.K)*		Thermal Conductivity - *k* - *W/(m.K)*	
Material /Substance	Temperature - 25 °*C*	Material /Substance	Temperature - 25 °*C*
Acetone	0.16	Copper	401
Acrylic	0.2	Nickel	91
Air (gas)	0.024	Nitrogen	0.024
Aluminum	250	Nylon 6	0.25
Aluminum Oxide	30	Oxygen	0.024
Ammonia (gas)	0.022	Paper	0.05
Argon (gas)	0.016	Platinum	70
Iron, wrought	59	Polyethylene	0.288 - 0.4
Iron, cast	55	Cotton	0.03
Magnesium	156	Carbon Steel	54
Mercury	8	Epoxy	0.35
Cadmium	92	Freon 12 (gas)	0.073
Carbon	1.7	Freon (liquid)	0.07
Carbon dioxide (gas)	0.0146	Silver	429
Sodium	84	Ice (0°C, 32°F)	2.18

Glass	1.05	Iron	80
Gold	310	Steel, Carbon 1%	43
Helium (gas)	0.142	Stainless Steel	16
Hydrogen (gas)	0.168	Water	0.58
1 W/(m.K) = 1 W/(m.°C) = 0.85984 kcal/(h.m.°C) = 0.5779 Btu/(ft.h.°F) = 0.048 Btu/(in.h.°F)			

رقم /7/

وثيقة نشر بحث في مجلة بحوث جامعة حلب

الجمهورية العربية السورية
جامعة حلب
مجلة البحوث

الرقم : [illegible]
التصنيف : [illegible]
الموضوع : ....

الدكتور أحمد نحاس
قسم هندسة الطاقة
كلية الهندسة الميكانيكية ـ جامعة حلب

حسان نحاس
طالب دراسات عليا (ماجستير)
قسم هندسة الطاقة
كلية الهندسة الميكانيكية ـ جامعة حلب

يسرنا إعلامكم أنه تمت الموافقة على نشر بحثكم بعنوان:

نمذجة التدفئة الشمسية السلبية لأحواض السباحة المكشوفة

في العدد /82/ لعام 2010 من مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة العلوم الهندسية علماً أن البحث ورد للمجلة بتاريخ 2010/4/13 وقبل للنشر بتاريخ 2010/5/20

وتفضلوا بقبول فائق التحية.

مدير مجلة بحوث جامعة حلب

أ.د. محمد نصوح علايا